

ENCYCLOPÉDIE CHIMIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

M. FREMY

Membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique, directeur du Muséum
Membre du Conseil supérieur de l'instruction publique

PAR UNE RÉUNION

D'ANCIENS ÉLÈVES DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DE PROFESSEURS ET D'INDUSTRIELS

ET NOTAMMENT DE

MM. H. BECQUEREL, répétiteur à l'École Polytechnique

BERTHELOT, docteur, membre de l'Institut; **BOURGOIN**, professeur à l'École de pharmacie
CAMUS, directeur de la Compagnie du Gaz; **A. D. CARNOT**, directeur du laboratoire de l'École des Mines

CHASTAIN, pharmacien en chef à l'hôpital de la Pitié; **CLOEZ**, examinateur de sortie à l'École polytech.

BÉDIZÉ, ingénieur en chef des manuf. de l'État; **DEBRAY**, membre de l'Institut

DITTE, professeur à la Faculté des sciences de Caen; **DUCLAUX**, professeur à l'Institut agronomique

DUQUESNAY, ingénieur des manuf. de l'État; **EUVERTE**, directeur des forges de Terre-Noire
GAUDIN, ancien élève de l'École polytechnique, professeur de chimie; **GIRARD**, directeur du Laboratoire municipal

GRANDEAU, directeur de la station agron. de Nancy; **L. GRUNER**, inspecteur général des mines

HENRIVAUX, sous-directeur de la manuf. des glaces de Saint-Gobain; **JOANNIS**, docteur ès-sciences

JOLY, maître de conférences à la Sorbonne; **JUNGHEISEN**, prof. à l'École de pharm.

KOLB, administrateur de la soc. des manuf. des produits chim. du Nord

LEMOINE, ing. en ch. des ponts et chauss., répétiteur à l'École polytech.; **LODIN**, ing. des Mines

MALLARD, professeur à l'École des Mines; **MARGOTTET**, professeur à la faculté des sciences de Montpellier

MATHEY, directeur des bouillères de Blanz; **MOULTIER**, répétiteur à l'École polytechnique

NIVOIT, prof. à l'École des ponts et chaussées; **OGIER**, docteur ès-sciences

PAIST, sous-directeur du Laboratoire municipal; **PRUNIER**, pharmacien en chef à l'hôpital du Midi

SCHLAGDENHAUFFEN, prof. à la faculté de méd. de Nancy; **SCHLOESING**, prof. au Cons. des arts-et-métiers

SOREL, ancien ingénieur des manufactures de l'État; **TERREIL**, aide-naturaliste au Muséum

TERQUEM, professeur; **URBAIN**, répétiteur à l'École centrale des arts et manufactures

VERNEUIL, professeur de chimie; **VIOLLE**, ing. des poudres et salpêtres, etc.

VIOLLE, prof. à la faculté des sciences de Lyon

et **VILLIERS**, chef des trav. pratiques à l'École de pharmacie

TOME V. — APPLICATIONS DE CHIMIE INORGANIQUE

2^e Section. — Industries chimiques

2^e FASCICULE. — ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Par **M. VIOLLE**

Professeur à la Faculté des sciences de Lyon.

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSEES, DES CHEMINS DE FER,
DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Augustins, 49

1883

Droits de traduction et de reproduction réservés.



EC. PHCIE

7 NOV 83

BIBLOUE

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE⁽¹⁾

Par M. Jules VIOLLE

Professeur à la Faculté des sciences de Lyon

INTRODUCTION

La question de l'éclairage est une de celles qui s'imposent à nous le plus impérieusement. Le temps n'est pas encore loin cependant où l'on n'avait pour s'éclairer, outre la torche rustique, que la lampe fumeuse des Romains ou la grossière chandelle des Celtes. La bougie, découverte en 1811 par M. Chevreul, ne fut industriellement fabriquée qu'en 1831. Il y a tout juste un siècle que la vieille lampe romaine reçut sa première transformation radicale : en 1782, Argand présentait aux États du Languedoc sa lampe à double courant d'air, à mèche creuse et cheminée, système que Quinquet rendit bientôt populaire. Carcel (1803) trouva ensuite le moyen de placer le réservoir sous la lampe en faisant monter l'huile par un mouvement d'horlogerie et Franchot (1837) obtint beaucoup plus simplement un résultat identique avec sa lampe modérateur. Tandis que la lampe se perfectionnait ainsi, un autre mode d'éclairage, inventé à la fin du siècle dernier par Philippe Lebon (1798), prenait peu à peu (non sans difficultés à ses débuts) une place qu'il parut bientôt devoir occuper sans partage. Et voici pourtant que l'électricité semble à son tour près de supplanter le gaz pour certains usages au moins, comme celui-ci a définitivement enlevé à l'huile une partie de son ancien domaine. Dans sa lutte contre l'huile, le gaz l'a emporté parce qu'il avait pour lui des avantages incontestables de commodité, d'intensité et d'économie. Mais il a vaincu sans opprimer sa rivale dont l'industrie, malgré l'apparition récente (1860) d'un nouveau champion, le pétrole, est restée prospère. Si les mêmes causes doivent produire les mêmes effets, le gaz n'aura rien à craindre de l'électricité. Tout perfectionnement dans une industrie profite aux industries similaires par suite de l'émulation qu'il provoque et des besoins nouveaux qu'il fait naître. « La lumière appelle la lumière », vérité littéralement exacte, que les gaziers n'ont eu garde de méconnaître. Le

(1) La plupart des figures de cet article ont été obligeamment mises à notre disposition par le journal *la Lumière électrique*.

bec de la rue du Quatre-Septembre et le bec Siemens sont-ils autre chose que les heureux résultats de cette concurrence féconde? De leur côté les électriciens ne restent point inactifs et le passé nous répond de l'avenir. En 1870, la machine Gramme ouvrait définitivement la voie à l'éclairage électrique; en 1878, la bougie Jablochkoff s'installait dans l'avenue de l'Opéra; trois ans après, l'Exposition internationale d'électricité à Paris offrait une série remarquable d'appareils à lumière, depuis les puissants foyers des phares, lançant des éclats de plusieurs milliers de Carcels, jusqu'aux gracieuses lampes à incandescence équivalant modestement à quelques bougies. Aujourd'hui la lumière électrique rayonne des bords de la Tamise aux rives du Niagara, des boulevards de Melbourne aux rues de la cité du Lac Salé.

L'éclairage par l'électricité est dès maintenant assez fixé dans ses principes et assez varié dans ses formes pour faire l'objet d'un exposé méthodique. Après avoir rappelé brièvement les divers moyens de produire de l'électricité, nous étudierons les principales lampes sous leurs deux formes essentielles : *lampes à arc voltaïque*, *lampes à incandescence*. Nous indiquerons enfin les applications les plus importantes de l'éclairage électrique.

CHAPITRE PREMIER

DES GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ

1. **La pile de Volta.** — La merveilleuse découverte de Volta (1800), en donnant le moyen d'avoir un courant continu d'électricité, permit par là même d'obtenir d'une manière suivie les effets lumineux que l'on avait appris à produire avec les vieilles machines électriques et dont l'éclat, comme l'instantanéité, rappelait si parfaitement les puissantes manifestations de la foudre. On peut dire que l'éclairage électrique date réellement de l'invention de la pile. Mais en dehors de quelques applications spéciales, la pile est un générateur d'électricité trop encombrant et trop coûteux pour fournir un éclairage pratique (1). C'est que dans une pile ordinaire, tout autre inconvénient laissé de côté, en fin de compte on brûle du zinc, tandis que dans une machine magnéto-électrique on brûle du charbon (2) et, quand même la machine n'utiliserait qu'une fraction minime de l'énergie que peut fournir ce combustible, il y aurait encore avantage à employer le charbon.

2. **Piles thermo-électriques.** — A ce point de vue une solution intéressante était celle des piles thermo-électriques. Après plusieurs essais dont les

(1) C'est cependant encore à l'aide de la pile que M. Duboseq produit la lumière électrique sur la scène de l'Opéra. On vient même d'installer au Comptoir d'Escompte un éclairage électrique au moyen de piles au bichromate de soude de MM. Jarriant et Grenet.

(2) Nous considérons les machines sous leur forme ordinaire *aujourd'hui*, c'est-à-dire actionnées par un moteur à vapeur. Si, comme on le fera sans doute un jour dans bien des cas, la force motrice était une de celles que la nature met gratuitement à notre disposition, combien plus grand encore serait l'avantage!

premiers remontent à 1869 (pile Mure et Clamond), M. Clamond avait construit en 1879 de grandes piles (alliage d'antimoine et de zinc et lame de fer) qui devaient servir à la fois de calorifères et de générateurs d'électricité. Mais il

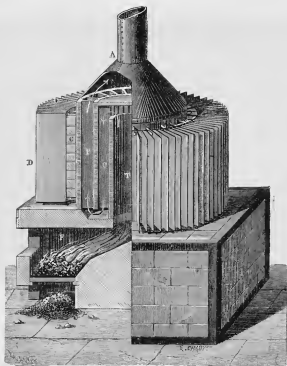


FIG. 1. — Pile Clamond.

n'est pas à notre connaissance que ces appareils aient jamais été d'un usage courant, et nous n'en avons vu aucun à l'Exposition d'électricité.

3. Machine Pixii et dérivées : machine de l'Alliance, machine Holmes, bobine Siemens. — La première machine qui ait réussi à remplacer la pile pour l'éclairage électrique est la machine de l'*Alliance*, imaginée par le professeur Nollet, de Bruxelles (1849) et construite par Joseph Van Malderen. Cet appareil, qui n'est autre chose que la combinaison d'un certain nombre de machines de Clarke (1), ne donnait toutefois que de fort médiocres résultats

(1) La première machine magnéto-électrique a été construite par Pixii en 1833; peu après, Saxton, préférant faire tourner la partie la moins lourde, fixa l'aimant horizontalement et vendit les bobines mobiles; Clarke redressa l'aimant et donna à la machine la forme bien connue qui porte son nom. Rappelons que dans la machine de Clarke le courant est de même sens pendant tout le temps qu'une bobine va d'un pôle à l'autre, puis devient de sens contraire. L'inversion se produisant précisément au moment où la bobine passe devant un pôle.

relativement à la production de la lumière quand Masson, professeur à l'École centrale, eut l'idée d'en supprimer le commutateur et d'employer directement à l'éclairage les courants alternatifs tels que les fournit la machine. Ce fut un per-

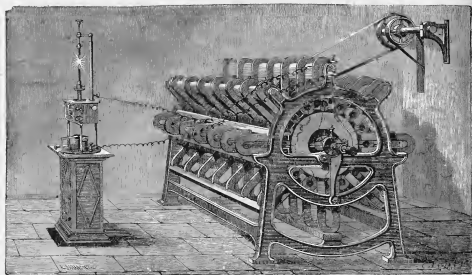


FIG. 2. — Machine de l'Alliance.

fectionnement considérable et dès l'année suivante (1863) des machines de l'*Alliance* étaient installées aux phares de la Hève, au Havre, où pendant dix-huit années elles ont rendu les meilleurs services, fonctionnant souvent quinze à dix-huit heures consécutives avec une régularité parfaite et sans avoir jamais causé aucun accident.

Vers la même époque, en Angleterre, un ancien employé de la Compagnie l'*Alliance*, Holmes, construisait une machine analogue, et l'appliquait également à l'éclairage des phares : son installation au phare de Dungeness (1862)



FIG. 3. — Bobine Siemens.

a même précédé celle des machines de l'*Alliance* aux phares de la Hève ; mais la lumière produite était médiocre, le commutateur n'ayant pas été supprimé. Ajoutons que, par un retour à la forme primitive de Pixii, Holmes avait rendu l'inducteur mobile, laissant au contraire les bobines induites fixes.

A la même date encore vient se placer l'invention (1854) de la bobine ou

armature de Siemens et Halske de Berlin (1). Sur cette bobine, contrairement à l'ancienne disposition, le fil est enroulé parallèlement à l'axe de rotation, le noyau ayant à cet effet la forme d'un cylindre entaillé de deux fortes échancrures longitudinales dans lesquelles vient se loger le fil. La bobine construite figure un cylindre exact, qui, reçu dans une cavité de même forme creusée dans les surfaces polaires des aimants, subit l'action de ces aimants beaucoup mieux

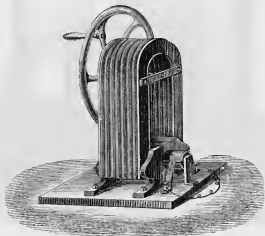


FIG. 4. — Machine magnéto-électrique de Siemens.

que la bobine extérieure de Pixii. De plus cette disposition permet de donner une vitesse énorme à l'électro-aimant mobile et par conséquent d'accroître considérablement l'intensité des courants produits, laquelle; toutes choses égales d'ailleurs, est proportionnelle à la vitesse; enfin, par sa forme même, la bobine maintient les aimants toujours sensiblement armés : de là le nom d'*armature* qui lui est souvent donné. Ces avantages sont précieux; aussi retrouverons-nous la même idée appliquée plus ou moins heureusement dans la plupart des machines modernes.

4. Machine Gramme. — De ces diverses machines la plus importante, à tous égards, est la machine de Gramme, dont M. Jamin présenta le premier modèle à l'Académie des sciences, le 17 juillet 1871. Depuis ce moment, les efforts de Gramme unis à ceux de ses constructeurs (Breguet, Sautter et Lemonnier, Heilmann-Ducommun, etc.) ont amené le type primitif à un rare degré de perfection. Mais il serait souverainement injuste d'oublier que Gramme avait eu dans le professeur Pacinotti un précurseur qui était allé jusqu'au point où l'appareil de laboratoire se transforme en machine industrielle (2). Le modèle

(1) Werner Siemens, *Pogg. Ann.*, Cl, 271, 1857.

(2) Il faut rappeler aussi que, dès 1852, Page avait construit à Washington un moteur à électro-aimants circulaires et qu'en 1866 Worms (de Romilly) fit breveter un appareil analogue.

original de Pacinotti figurait avec honneur à l'Exposition internationale d'électricité; et le *Journal de Physique* a donné (t. X, p. 461) la traduction du mémoire publié par Pacinotti dans le *Nuovo Cimento* de juin 1864.

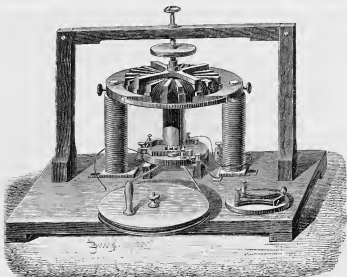


FIG. 5. — Machine Pacinotti.

La pièce essentielle de la machine de Gramme est un anneau en fer doux autour duquel s'enroule un fil de cuivre dont les deux extrémités sont soudées de façon à former une bobine sans fin, à laquelle on peut imprimer un mouve-

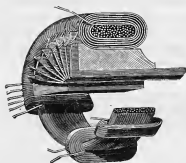


FIG. 6. — Anneau de Gramme.

ment de rotation rapide entre les pôles d'un aimant. Comme dans tout appareil d'induction bien construit, le noyau en fer doux n'est pas d'une seule pièce : il se compose d'un paquet de fils de fer obtenus ici au moyen d'un fil unique enroulé convenablement. Le fil de cuivre est constitué par une série de tronçons

tournant autour du noyau, toujours dans le même sens, et bouclés ensemble de manière à présenter un fil unique. Chaque boucle unissant la fin d'un tronçon au commencement du suivant, est elle-même soudée à une pièce de cuivre figurant une L renversée. Cette pièce, d'abord radiale, devient ensuite parallèle à

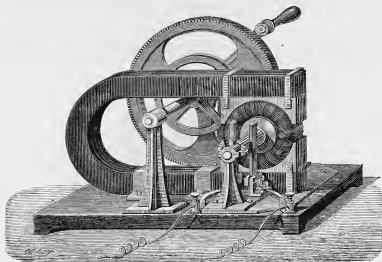


FIG. 7. — Machine Gramme, modèle de laboratoire.

l'axe de la bobine, autour duquel elle forme avec les autres pièces semblables, serrées les unes contre les autres et isolées soigneusement, un cylindre que pressent deux balais métalliques également isolés : c'est le *collecteur*.

Sous l'influence de l'aimant fixe, le noyau s'aimante, prenant en A un pôle austral et en B un pôle boréal. Quand l'anneau tourne, ces pôles restent fixes



FIG. 8. — Diagramme de la machine Gramme.

dans l'espace, de sorte que l'on peut faire abstraction de la rotation du noyau : son rôle est le même que s'il était fixe. Or ce rôle est double :

1° Le magnétisme développé par influence en A et B réagit sur le magnétisme de l'aimant fixe de manière à constituer entre chacune des surfaces polaires de cet aimant et le noyau un champ magnétique très étroit et très intense ;

2° En même temps qu'il concentre l'effet dans la région comprise entre le noyau AB et les surfaces polaires *nn*, *ss*, le noyau agit comme un écran

magnétique annihilant presque complètement l'action de l'aimant à l'intérieur de l'anneau.

Ce double rôle du noyau apparaît nettement sur le *fantôme magnétique* dessiné par la limaille de fer dans le plan mené par la ligne SABN et par l'axe

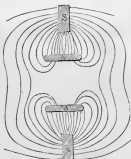


FIG. 9. — Fantôme magnétique, dessiné par la limaille de fer dans le plan axial polaire d'un anneau de Gramme.

de l'anneau. Les parcelles de limaille se disposent normalement aux surfaces d'égal potentiel, suivant les lignes de force, et il est visible que ces lignes concentrées dans les régions SA et BN font presque entièrement défaut à l'intérieur

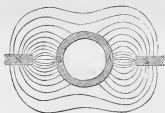


FIG. 10. — Fantôme magnétique autour d'un cylindre indéfini.

du noyau. Si l'anneau était un cylindre indéfini, l'espace intérieur serait absolument soustrait à toute action magnétique extérieure.

Cela bien compris, il est aisé de se rendre compte du fonctionnement de la

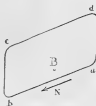


FIG. 11. — Spire isolée de l'anneau de Gramme, au moment où elle passe en regard de l'un des pôles de l'aimant fixe.

machine. Considérons une spire déterminée *abcd* du fil de cuivre, et supposons que cette spire, se déplaçant de gauche à droite, arrive entre les pôles N et B. Un courant se produit dans la portion *ab* sous les actions concordantes

des pôles B et N (1). Dans la portion *bc*, les deux actions sont au contraire discordantes et par suite le courant produit, de même sens d'ailleurs, est très faible; il en est de même dans la portion *da*; le côté *cd* ne fournit à peu près rien non plus; de sorte que, pratiquement, une seule portion de la spire est efficace, la portion extérieure *ab*: les

(1) La production de ce courant est analogue à celle du courant que l'on obtient avec la roue de Barlow quand réunissant les fils M et N par un galvanomètre, on fait tourner à la

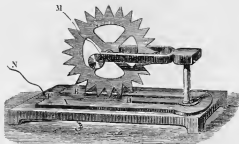


FIG. 12. — Roue de Barlow.

main la roue dans le sens *FD*: un courant induit traverse les fils et le galvanomètre dans le sens *NM*, opposé à celui du courant qui produirait la rotation dans le même sens *FD*. Ainsi renversée, la roue de Barlow n'est autre chose en réalité que le disque tournant de Faraday, au

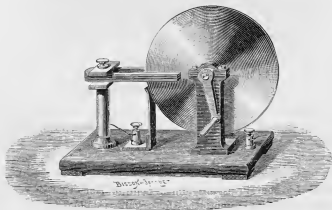


FIG. 13. — Disque de Faraday.

moyen duquel l'illustre physicien démontra la production d'un courant permanent par l'induction magnétique.

autres n'agissent que par leur résistance et sont par conséquent nuisibles (1).

Suivons la portion utile pendant une révolution entière : de M en M' (fig. 8) elle est soumise à l'action des pôles N et B : le courant qui la traverse, d'intensité variable, est constamment dirigé d'arrière en avant, selon *ab* ; de M' en M, cette même portion de spire *ab* est soumise à l'action des pôles S et A : elle est parcourue par un courant dirigé d'avant en arrière, suivant *ba*. Ainsi le courant est d'un certain sens pendant la demi-révolution inférieure, et de sens contraire pendant la demi-révolution supérieure, les inversions se produisant au moment où la spire franchit la ligne neutre M M'.

Examinons maintenant ce qui se passe dans l'anneau entier. A un instant donné, toutes les spires de la moitié supérieure sont traversées par de courants de même sens qui s'ajoutent, toutes les spires inférieures par des courants de sens opposé qui s'ajoutent également. La machine est ainsi analogue à un système de deux piles de même force montées *en opposition* ou en

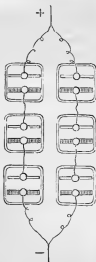


FIG. 14. — Système de deux piles montées en opposition.

quantité. Un fil réunissant les deux points de jonction sera traversé par les courants des deux piles. C'est donc aux points de jonction, c'est-à-dire sur la ligne neutre, qu'il faut prendre le courant et par conséquent placer les balais.

Chaque balai touchant toujours à la fois au moins deux des pièces en cuivre du commutateur, le courant est absolument continu. Mais il n'est pas rigoureusement constant, il présente une succession régulière de maxima et de minima :

(1) Sur le conseil du professeur Lorentz, M. Jurgensen (de Copenhague), a tout récemment construit une machine de Gramme, dont l'anneau allongé tourne autour d'un électro-aimant fixe intérieur traversé par le même courant que les électro-aimants extérieurs : l'augmentation de puissance est réelle.

il est *ondulatoire*. D'ailleurs son intensité est proportionnelle à la vitesse de translation des portions efficaces.

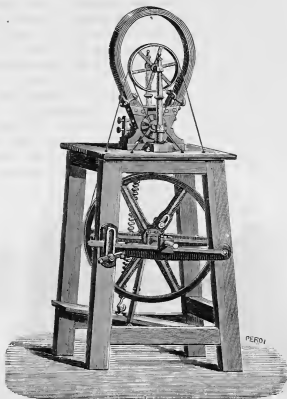


FIG. 15. — Machine Gramme : modèle de laboratoire, à aimant Jamin, avec dispositif Raffard pour accroître la vitesse.

Le système d'aimants permanents qui actionnent l'anneau peut évidemment être remplacé par des électro-aimants.

C'est ainsi qu'on a d'abord employé des électro-aimants excités par une machine distincte, ou *machine excitatrice*, montée ou non sur le même arbre que la machine elle-même. Cette méthode, imaginée par M. Wilde, de Manchester (1866), est avantageuse en ce qu'elle permet de donner aux électro-aimants un magnétisme invariable, mais les machines à circuit unique sont d'un rendement supérieur.

Alors c'est le courant même de la machine qui anime les électro-aimants. En 1867, M. Werner Siemens montrait aux physiciens de Berlin sa machine *dynamo-électrique*, s'excitant elle-même sans courant extérieur. Un circuit unique comprend la bobine induite, les bobines de l'électro-aimant et le

circuit extérieur. Par l'effet du magnétisme rémanent que conserve toujours le noyau d'un électro-aimant, il se produit au début du mouvement un faible courant qui circule dans le fil des électro-aimants : l'aimantation devient plus forte, et par suite le courant induit plus énergique ; et ainsi de suite, jusqu'à ce que le courant ait atteint sa valeur normale pour le régime actuel de la machine. Ce principe de l'auto-excitation convient à toutes les machines électro-magnétiques. M. Gramme l'a appliqué à la sienne d'une manière très heureuse. La figure 16 représente le modèle dit type normal. « On voit que le bâti de fer et fonte est lui-même l'électro-aimant sur lequel le fil conducteur du courant agit pour l'aimanter. Cet électro-aimant présente quatre bobines de fil produisant deux pôles consécutifs, un en haut et un en bas. Chacun de ces pôles s'épanouit en une coquille de fonte de fer qui enveloppe l'anneau sur un arc un peu moindre qu'une demi-circonférence. Les montants ou flasques de fonte, qui rejoignent les électro-aimants du haut à ceux du bas, ferment le circuit magnétique. On peut comprendre la machine

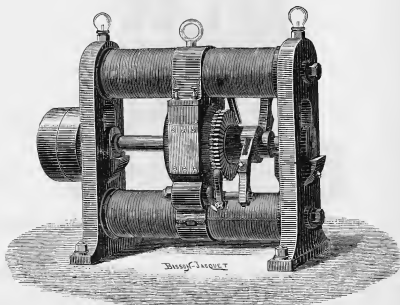


FIG. 16. — Machine Gramme, type d'atelier

d'une autre façon, comme composée de deux parties symétriques : chaque flasque, avec une bobine du haut et une du bas, constitue un électro-aimant à deux bobines et à semelle, comme ceux qui se font généralement ; ces deux électro-aimants (à deux bobines) sont montés l'un contre l'autre, joignant leurs pôles nord en haut par exemple, et leurs pôles sud en bas. L'axe unique de la machine porte l'anneau avec son commutateur. Les balais sont portés par le bâti et

frottent sur le commutateur. Enfin cet axe lui-même pivote dans des paliers ménagés à l'intérieur des flasques de fonte, qui se trouvent ainsi utilisées deux fois, comme supports mécaniques et comme organes magnétiques (1). »

Tout en conservant le principe de l'auto-excitation, on peut partager le courant induit entre le circuit extérieur et les électro-aimants mis en dérivation. Cette disposition, proposée par Wheatstone en 1867, assure plus de régularité, mais selon M. William Siemens, pour le même rendement, elle exigerait des électro-aimants de beaucoup plus grande dimension que les machines à circuit simple.

5. **Machine Siemens.** — La machine von Hefner-Alteneck, nommée aussi machine Siemens du nom de ses constructeurs, repose sur le même principe

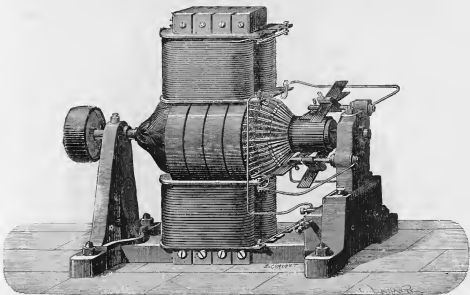


FIG. 17. — Machine Siemens, 1^{re} type.

que la machine Gramme. Mais, tandis que dans celle-ci les portions intérieures du fil, sur lesquelles les aimants extérieurs n'auraient qu'une action nuisible, sont soustraites à cette action par le fer doux du noyau annulaire, dans la machine Siemens ces portions sont purement et simplement supprimées : le fil s'enroule tout entier à l'extérieur d'un cylindre de fer doux et parallèlement aux génératrices de ce cylindre, comme dans l'armature Siemens. Pour avoir un enroulement continu, on est toutefois obligé de traverser aux deux extrémités

(1) Niaudet, *Machines électriques à courants continus*, 2^e édit., Paris, Baudry, 1881, p. 19.

les bases du cylindre ; on forme ainsi une pelote dont les portions transversales sont inefficaces et par conséquent nuisibles. On atténue cet inconvénient en allongeant la pelote dans le sens de son axe. Le cylindre en fer est fait de plusieurs couches de fil de fer bien recuit, enroulées circulairement autour d'un tambour en bois porté par l'arbre de la machine. Sur cette carcasse recouverte de taffetas gommé est enroulé longitudinalement le fil de cuivre divisé en plusieurs sections qui se rattachent à un collecteur semblable à celui de Gramme : chaque section se compose de deux branches diamétralement opposées, subissant simultanément l'induction. Les électro-aimants sont réunis de part et d'autre de la pelote par des barres de fer méplates courbées en arc de cercle et constituant encore deux pôles conséquents ; ils peuvent de même être animés, soit par une machine excitatrice indépendante, soit par le courant de la machine même lancé tout entier ou seulement en partie dans les électro-aimants. La carcasse cylindrique en fer (qui était fixe dans les premiers modèles, le fil étant

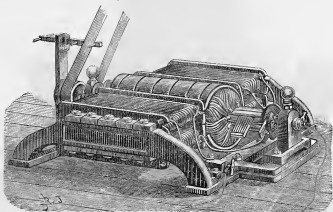


FIG. 18. — Machine Siemens, 2^e type

seul mobile), ne laisse entre elle et les électro-aimants que juste la place pour loger le fil : celui-ci se meut donc dans un champ magnétique très resserré et par conséquent très intense.

6. Autres machines à courant continu. — Les machines Gramme et Siemens constituent les deux types principaux d'une famille caractérisée à première vue par la position des balais placés, comme la ligne de partage, normalement à la ligne des pôles. C'est l'inverse de la disposition offerte par les machines de la première famille, ou machines du système Pixii.

Chacune de ces deux familles comprend dès aujourd'hui un grand nombre d'individus. Il n'entre pas dans le cadre de cet article de les décrire, ni même de les mentionner tous.

Machines Wilde, Niaudet, Wallace Farmer, Lontin. — Nous citerons cependant encore dans la première famille la *machine Wilde* (1867) (1), qui a

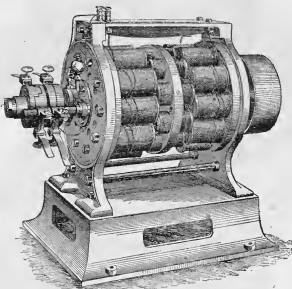


FIG. 19. — Machine Wilde.

a été le point de départ des machines dynamo-électriques ; la *machine Niaudet* (1872), constituée par une série de bobines montées normalement sur un plateau

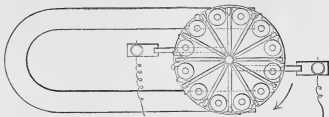


FIG. 20. — Machine Niaudet.

tournant comme dans la machine Wilde et associées à la manière des sections de l'anneau de Gramme dont elles empruntent le commutateur ; la *machine Wallace Farmer* (1875), construite exactement d'après les mêmes principes (2) ; enfin la *machine Lontin* (1874), qui se distingue des précédentes en ce que les

(1) Voy. du Moncel, *L'éclairage électrique*, 2^e édit., Paris, Hachette, 1880, p. 78.

Les bobines sont aplaties et percées d'un trou pour faciliter le refroidissement.

bobines sont disposées radialement comme les dents d'une roue dentée (1); de là

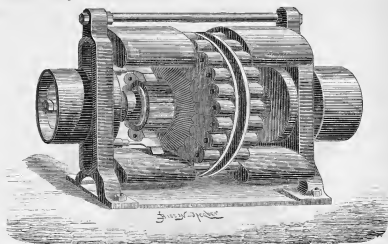


FIG. 21. — Machine Wallace Farmer.

le nom de pignon magnétique par lequel on la désigne souvent : elle sert principa-

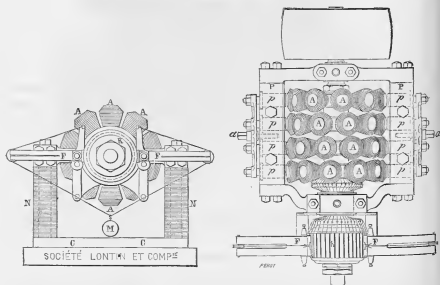


FIG. 22 et 23. — Machine Lontin : élévation et plan.

lement à exciter les électro-aimants de la machine Lontin à courants alternatifs.

(1) AA Bobines induites dont les noyaux ont une forme conique afin de maintenir le fil malgré la force centrifuge.

NCCN. Electro-aimant inducteur à masses polaires pppp, se réglant à l'aide des vis a.

K Collecteur contenant autant de lames de bronze isolées qu'il y a de bobines.

FF Frotteurs pressés contre le collecteur par l'action du poids M.

Machine Brush. — Dans la deuxième famille nous devons une mention spé-

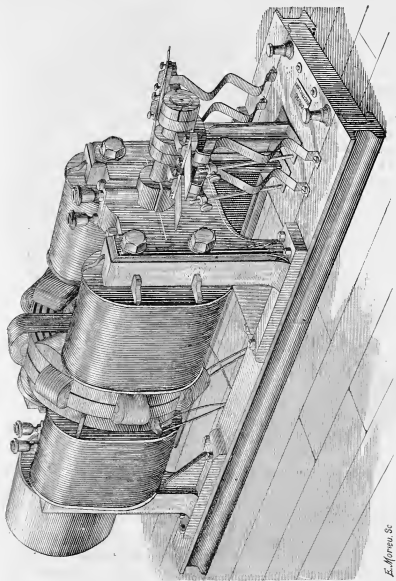


FIG. 24. — Machine Brush.

E. Moreu, Sc

ciale à la machine Brush, aujourd'hui très répandue et remarquable par les tensions énormes (2000 volts et plus) qu'elle permet d'obtenir.

Dans la machine Brush, l'anneau est une pièce de fonte à section rectangulaire présentant sur ses deux faces une série de dents séparées par des excavations dans chacune desquelles est enroulé un fil isolé. On a ainsi autant de bobines que de dépressions; et sur l'anneau garni les faces latérales sont parfaitement planes, les bobines étant amenées exactement au niveau des dents, ou surfaces polaires, qui les séparent les unes des autres. Cette forme de l'anneau, imitée de Pacinotti, a pour effet d'augmenter l'intensité du champ magnétique, mais elle réduit la longueur efficace du fil; et, à ce point de vue, la machine Brush est certainement inférieure aux machines Gramme et Siemens où le champ magnétique est complètement rempli par le fil qui doit recevoir son influence (1). Une autre cause d'infériorité tient à la conformation du noyau de l'anneau : au lieu d'être constitué comme dans les machines Gramme et Siemens par des fils de fer isolés, ce noyau est ici formé d'une masse unique qui, malgré les excavations qu'on y a creusées, est le siège de courants d'induction (courants de Foucault) intenses; en outre la fonte, dans ses aimantations et désaimantations successives, consomme une quantité d'énergie plus grande que le fer doux. Par contre, la disposition des électro-aimants agissant efficacement sur les deux



FIG. 25 et 26. — Profil et coupe du noyau de l'anneau de Brush.

faces latérales des bobines permet d'utiliser deux côtés de chaque spire au lieu d'un seul.

Dans la machine dite à seize lumières et qu'on peut considérer comme la machine Brush type, il y a huit bobines, enroulées toutes dans le même sens et réunies deux à deux en tension, les bouts intérieurs des fils de deux bobines diamétralement opposées étant attachés ensemble et les bouts extérieurs des mêmes fils étant unis aux deux segments d'un même anneau du commutateur. Le com-

(1) Niaudet, *loc. cit.*

mutateur se compose en effet d'une série d'anneaux semblables à ceux du commutateur de Clarke, à cela près qu'entre les deux segments A et B joints aux deux

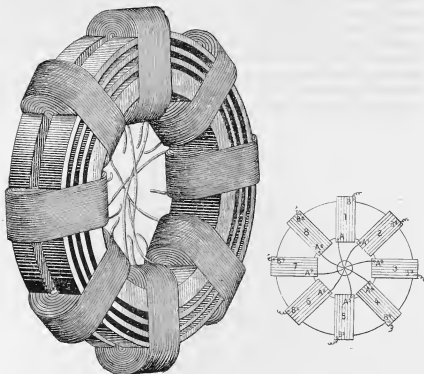


FIG. 27 et 28. — Anneau de Brush

bouts du fil induit on a ménagé un petit segment isolé C : ces anneaux sont en nombre égal au nombre (quatre ici) des couples de bobines de l'armature. En face de

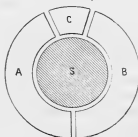


FIG. 29. — Coupe du commutateur de la machine Brush.

ces quatre anneaux sont deux paires de brosses de cuivre, chaque brosse ayant

la largeur suffisante pour frotter simultanément sur deux anneaux. Il en résulte que deux couples consécutifs de bobines sont réunis en quantité par les balais. C'est ce mode de réunion qui force à intercaler le petit segment, au moyen duquel chaque couple de bobines est séparé du circuit pendant le temps durant lequel il passe dans la région neutre du champ (au voisinage de la verticale), c'est-à-dire deux fois par chaque révolution. Si l'on réunissait en quantité deux éléments de force électromotrice notablement différente, l'effet utile serait moindre qu'avec l'élément le plus fort seul. Par conséquent, bien qu'en supprimant momentanément l'un des deux éléments on augmente la résistance, on a cependant encore avantage à le faire quand la force électromotrice de cet

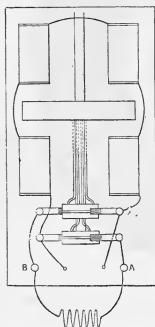


FIG. 30. — Schéma du circuit dans une machine Brush.

élément est devenue trop faible; mais ce n'est là qu'un avantage relatif. Toutefois cette double période de repos, égale en somme au quart de la durée de la révolution de la bobine, permet à la machine de moins s'échauffer, ce qui n'est pas sans importance ici. Comme dans le type normal de Gramme, les électro-aimants sont animés par le courant même de la machine. La figure 30, qui est une coupe schématique de l'appareil par un plan horizontal, montre les relations de l'armature avec les électro-aimants. A et B sont les deux pôles de la machine entre lesquels se développe le circuit unique.

7. Machines à courants alternatifs. — Depuis l'invention des bougies Jablochkoff, les machines à courants alternatifs ont pris un grand développe-

ment et leur rôle dans l'éclairage électrique est aujourd'hui considérable.

Machine de l'Alliance. — Nous rappellerons que la première machine magnéto-électrique industrielle, la machine de l'*Alliance*, n'a réussi à entrer dans l'industrie que le jour où, débarrassée du commutateur, elle a fourni directement les courants alternatifs, tels qu'elle les produit, changeant de signe à chaque passage d'une bobine mobile devant un des pôles alternativement N et S des aimants fixes.

Machine Lontin. — En 1876, M. Lontin créa, toujours sur le type Pixii, une bonne machine dynamo-électrique à bobines induites fixes : disposition qui permet de recueillir le courant de chaque bobine isolément. L'inducteur, mobile par conséquent, n'est autre que le pignon magnétique AAA du même

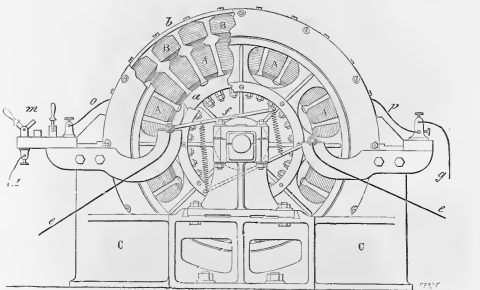


FIG. 31. — Machine Lontin.

inventeur, recevant le courant continu d'une machine Lontin (fig. 31) au moyen des fils *ee* et des frotteurs *f* qui appuient chacun sur un anneau en laiton porté par l'arbre. A ces deux anneaux soigneusement isolés aboutissent les deux extrémités des fils inducteurs, enroulés de manière à donner aux dents successives des polarités alternativement inverses. En regard des électro-aimants inducteurs, sont disposées en nombre égal les bobines induites BBB, montées sur des rayons en fer doux qui forment autour du pignon et concentriquement avec lui une sorte de roue dentée intérieurement : chaque bobine a son fil distinct venant se terminer d'une part en *o* au manipulateur, de l'autre en *p* à la borne de retour du courant. Le manipulateur *m* comprend deux séries d'interrupteurs permettant les uns de réunir comme l'on veut les courants partiels, les autres de grouper à son gré les lampes sur les divers

circuits. *a* est une poulie en fonte portant les noyaux de fer doux qui constituent les dents du pignon; *b* est un anneau en fer auquel sont fixés les noyaux des bobines induites; *d* est le fil partant du manipulateur pour aller aux lampes, *g* le fil de retour; enfin CC est le bâti de la machine.

Machine Gramme. — En 1877, M. Gramme a construit pour alimenter les bougies Jablochkoff une machine à courants alternatifs, dans laquelle, ainsi que dans la précédente, le système induit est fixe. Le système inducteur mobile consiste en un pignon magnétique à pôles alternés. Le système induit est formé par un cylindre assez long, disposé d'ailleurs comme l'anneau du même inventeur, avec cette particularité toutefois que les spires du fil de cuivre sont

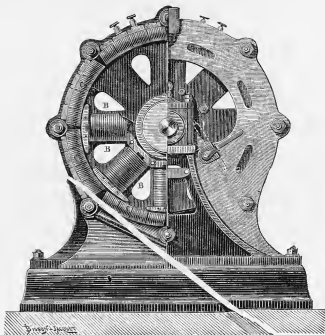


FIG. 32. — Machine Gramme à courants alternatifs.

partagées en autant de sections qu'il y a de dents au pignon, chaque section comprenant le même nombre de spires. Dans le modèle figuré ci-contre, l'anneau est ainsi partagé en huit sections comptant chacune quatre spires. Si l'on se rappelle ce que nous avons dit plus haut, on verra immédiatement que chaque spire est traversée par un courant de même sens pendant le temps que passe devant elle une portion du pignon comprise entre les milieux de deux creux consécutifs: le changement de sens s'opère à égale distance de deux pôles et se répète par conséquent huit fois par tour. Considérons la première spire, par exemple, de chaque section: nous voyons qu'à chaque instant dans les sections 1, 3, 5, 7, elle est influencée d'une certaine manière et dans les sections 2, 4, 6, 8 de la même façon au signe près. Si l'enroulement du

fil change de sens d'une section à la suivante, toutes ces premières spires seront traversées simultanément par un courant identique. Il en sera évidemment de même des deuxièmes, troisièmes et quatrièmes spires. Sur la machine sont disposées huit bornes, permettant de recueillir séparément les courants des quatre séries. Il n'y a pas de commutateur: l'axe porte simplement, comme dans la machine Lontin, deux anneaux isolés en communication avec les extrémités du fil induit; contre ces anneaux pressent deux balais amenant le courant continu de l'*excitatrice*, qui n'est autre qu'une machine Gramme ordinaire.

On peut aussi comme dans la machine *auto-excitatrice* de Gramme (1879)

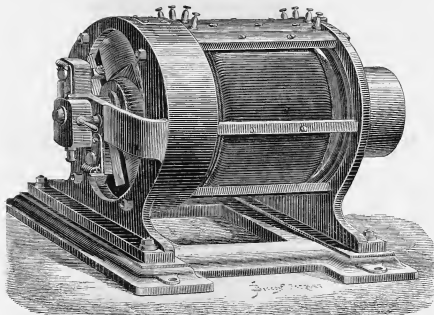


FIG. 33. — Machine Gramme auto-excitatrice.

réunir sur le même axe la machine à courants continus excitatrice et la machine à courants alternatifs ou *machine à lumière*.

Machine de Méritens. — Quand, laissant de côté la question de volume et de poids, on tient avant tout à obtenir un fonctionnement régulier, on peut utilement revenir pour l'inducteur aux aimants permanents des machines de l'Alliance. C'est ce qu'a fait M. de Méritens. Dans sa machine type d'atelier, l'inducteur se compose de huit aimants d'Allevard, en fer à cheval, dont les branches, disposées suivant les génératrices d'un cylindre horizontal, présentent d'un même côté leurs pôles alternés et également espacés. Chaque aimant est constitué par douze lames superposées et pèse environ 20 kilogrammes. Ce système inducteur est donc nécessairement fixe. Le système induit est un anneau Pacinotti dont les diverses sections sont isolées magnétiquement les

unes des autres (1). Le noyau de cet anneau et ses épanouissements polaires sont formés de minces lames de fer juxtaposées; chaque bobine a une longueur exacte-

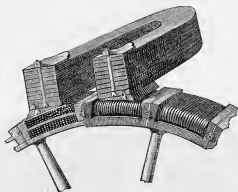


FIG. 34. — Anneau de la machine de Méritens.

ment égale à la distance de deux pôles consécutifs de l'inducteur. Le diagramme ci-contre fait voir comment sont réunies les bobines de manière à recueillir en

(1) Tout dernièrement M. de Méritens a repris exactement l'anneau de Pacinotti et, le montant

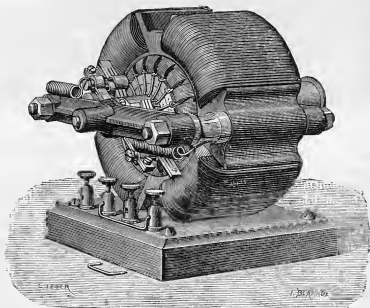


FIG. 35. — Machine de Méritens à anneau Pacinotti.

un seul les courants alternativement de sens inverse qui se produisent à un
sur un axe horizontal, il a construit une petite machine spécialement destinée à servir de moteur
(fig. 35, 36, 37).

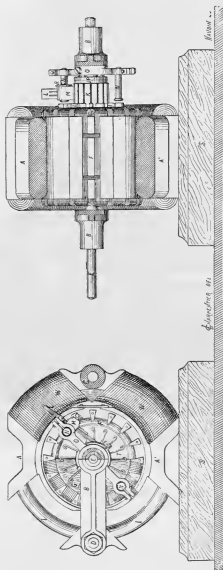


FIG. 36 et 37. — Élévation et coupe de la machine de Méritens à anneau Pacinotti.

même moment dans les diverses bobines (1). Ce courant unique changera d'ailleurs de sens seize fois par tour, les positions d'inversion étant celles qui caractérisent toutes les machines dérivées du type Pacinotti. Les deux extrémités



FIG. 38. — Mode de réunion des bobines de la machine de Méritens.

du circuit induit aboutissent à deux anneaux isolés, montés sur l'arbre de la

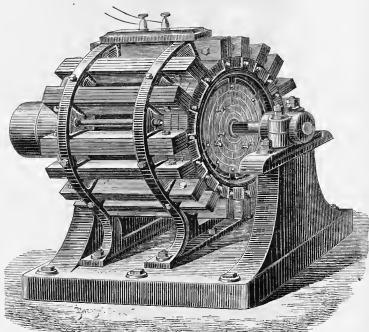


FIG. 39. — Machine de Méritens, type d'atelier.

machine et, par deux frotteurs, à deux grosses bornes qui sont par conséquent chacune alternativement positive et négative.

(1) Dans ses machines type d'atelier, M. de Méritens dispose à l'intérieur de l'anneau un plateau permutateur au moyen duquel on peut, par un simple déplacement de chevilles, grouper les bobines induites de diverses manières : par exemple, on les montera toutes les 16 en tension pour alimenter 3 bougies Jablochkoff ou 4 régulateurs de 25 carrels environ, ou bien on réunira en quantité deux courants de 8 bobines chacun pour servir 2 régulateurs de 50 carrels, ou encore on associera en quantité quatre courants de 4 bobines chacun pour entretenir une seule lampe de 100 carrels.

On peut évidemment grouper plusieurs anneaux sur un même arbre (en re-

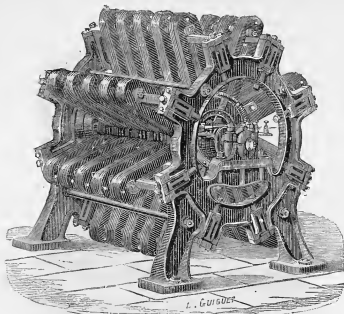


FIG. 40. — Machine de Méritens, modèle des phares.

dressant les aimants suivant le sens des rayons) : on obtient ainsi des machines magnéto-électriques pouvant allumer jusqu'à 30 bougies Jablochkoff.

Machine Siemens. — Parmi les machines à courants alternatifs, l'une des plus remarquables est celle de M. von Hefner-Alteneck, construite par la maison Siemens. Le trait distinctif de cette machine est la suppression des noyaux de fer dans les bobines induites. Celles-ci sont donc réduites à des cadres galvanométriques montés sur une roue verticale en bronze qui tourne très rapidement dans l'étroit espace compris entre les deux couronnes inductrices placées verticalement l'une en face de l'autre. Chacune de ces couronnes comprend 16 électro-aimants droits à pôles alternés, les pôles en regard étant de sens contraire. Les bobines induites, au nombre de 16 également, sont allongées en forme de secteurs : les cadres sont en bois, les joues sont en cuivre mince percé de trous pour favoriser le refroidissement. L'échauffement d'ailleurs est très faible puisqu'il n'y a pas de noyau de fer : cette circonstance, jointe à la légèreté du système inducteur, permet de donner une très grande vitesse au système induit. Chacune des bobines est traversée, à chaque tour, par 16 courants alternatifs, les changements de sens coïncidant avec les passages des pôles fixes du système inducteur (1), comme dans toutes les machines du type Pixii.

(1) Il est bien entendu toutefois que cette règle n'est qu'approximative et qu'en réalité il y a, comme dans toute machine, un déplacement des points d'inversion dans le sens du mouvement, déplacement que la théorie élémentaire, fondée sur la seule influence du champ primitif ne peut faire prévoir et qui résulte des réactions, ainsi qu'on le verra plus loin.

Les fils des bobines viennent se réunir sur un plateau de bois fixé à la roue de bronze qui porte le système induit. Là ces fils sont groupés de la façon

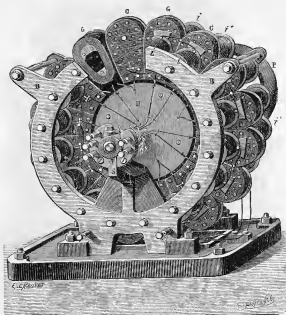


FIG. 41. — Machine Siemens à courants alternatifs.

qui convient le mieux à l'effet que l'on veut produire. Chaque circuit aboutit d'une part à un anneau isolé distinct, de l'autre à un anneau commun (plus

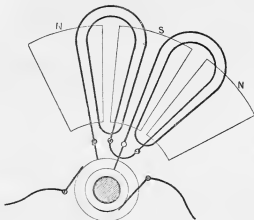


FIG. 42. — Diagramme de la machine Siemens à courants alternatifs.

large que les autres), auquel se termine le fil de retour unique des divers circuits extérieurs issus chacun respectivement de l'un des premiers anneaux. Comme

excitatrice, on emploie une machine Siemens à courant continu, petit modèle.

M. Joubert (1) a fait une étude très soignée de la machine Siemens à courants alternatifs. Il a constaté expérimentalement les trois faits suivants :

1° La force électromotrice E due au champ primitif (c'est-à-dire au champ tel qu'il existe quand le système induit est au repos), et abstraction faite des réactions, suit la loi des sinus.

2° L'intensité du courant à chaque instant suit également la loi des sinus, mais avec un changement de phase par rapport à la force électromotrice due au champ primitif.

3° L'intensité moyenne est :

$$I = \frac{e}{(a^2 + R^2)^{\frac{1}{2}}},$$

e étant une constante proportionnelle à la vitesse et que l'on peut appeler la force électromotrice de la machine en mouvement, a une deuxième constante également proportionnelle à la vitesse et représentant la valeur de la résistance totale pour laquelle le travail électro-dynamique est maximum ; enfin R est la résistance totale du circuit.

Ainsi, avec les trois vitesses différentes, de V tours par minute, il a trouvé :

$$I = \frac{132}{(473 + R^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$I = \frac{190}{(986 + R^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$I = \frac{287}{(2254 + R^2)^{\frac{1}{2}}}$$

R	I observé	I calculé	R	I observé	I calculé	R	I observé	I calculé
10	5,55	5,54	10	5,75	5,77	10	5,83	5,91
20	4,50	4,56	20	5,10	5,10	20	5,52	5,57
30	3,65	3,70	30	4,40	4,37	30	5,10	5,11
40	2,90	2,90	40	3,74	3,74	40	4,63	4,63
50	2,45	2,42	50	3,25	3,22	50	4,20	4,16
60	2,10	2,07	60	2,80	2,80	60	3,78	3,75
70	1,80	1,80	70	2,44	2,47	70	3,44	3,37
80	1,59	1,59	80	2,21	2,21	80	3,10	3,10
90	1,40	1,42	90	1,90	1,99	90	2,78	2,84
100	1,27	1,31	100	1,75	1,86	100	2,52	2,59

L'intensité ne suit donc pas la loi de Ohm. Elle s'en rapproche quand la résistance augmente ; elle s'en écarte au contraire considérablement quand la résistance devient faible par rapport à a : l'intensité alors est beaucoup moins influencée par les variations de R qu'elle ne le serait avec une pile. « Ce cas est celui dont se rapprochent les machines dans les conditions de fonctionnement ordinaire, vitesse très grande, résistance extérieure médiocre. Dans ces conditions la résistance intérieure de la machine en tant que résistance n'a qu'une influence tout à fait secondaire. »

(1) Joubert, *Annales de l'École normale*, 2^e série, X, 131, 1881.

Étudiant ensuite la question théoriquement, M. Joubert a considéré l'ensemble des forces électromotrices mises en jeu : force électromotrice E résultant du champ primitif et forces électromotrices inverses provenant des réactions des diverses parties de la machine. « Ces réactions sont celles du système induit sur les électro-aimants et celles du système induit sur lui-même. Or l'effet des premières dans la machine Siemens peut être regardé comme négligeable ; en effet, le courant qui excite les électro-aimants, mesuré à un galvanomètre d'une grande sensibilité, n'accuse de variations appréciables ni au moment où l'on ouvre, ni au moment où l'on ferme le circuit induit. Tout se réduit donc à la réaction du système induit sur lui-même. » Tenant compte de cette réaction et admettant la loi de variation de la force électromotrice E suivant le sinus, M. Joubert retrouve comme conséquences nécessaires les deux autres faits donnés par l'expérience. En désignant par φ la phase, c'est-à-dire la fraction de la période dont est déplacée la courbe des intensités par rapport à celle des E , on a :

$$\operatorname{tg} 2\pi\varphi = \frac{a}{R},$$

formule qui représente également bien les résultats de l'observation. De cette formule il ressort que le déplacement du zéro est nul quand $R = \infty$ (circuit ouvert), qu'il est au contraire maximum pour une vitesse infinie : la valeur de la phase est alors $1/4$, quelle que soit la résistance, c'est-à-dire que le déplacement est égal au quart de l'intervalle qui sépare deux pôles de même nom, ou à la moitié de l'intervalle compris entre deux pôles consécutifs.

CHAPITRE II

DE L'ARC VOLTAÏQUE

8. **Production de l'arc.** — Lorsqu'on amène au contact deux baguettes de charbon placées aux deux pôles d'une pile énergique, une vive incandescence se manifeste au point par lequel les baguettes se touchent; et si on les écarte graduellement, une flamme continue, éblouissante, jaillit entre les extrémités en regard. Sir Humphry Davy (1) qui fit le premier (2) cette observation en 1813 avec sa pile de 2000 éléments, employait deux morceaux de charbon de bois, disposés bout à bout horizontalement. En les éloignant jusqu'à 10 centimètres de distance, il obtint une magnifique bande de feu courbée vers le haut, un *arc* qu'il nomma *voltaïque* en l'honneur de Volta. Foucault remplaça le charbon de bois, qui se consumait très vite, par du charbon de cornue qui dure beaucoup plus longtemps; on fait usage aujourd'hui de charbons artificiels qui conviennent encore mieux. On a reconnu aussi que l'arc se forme plus facilement quand les charbons sont placés verticalement, le charbon positif en haut: c'est la disposition habituelle dans les appareils à lumière électrique.

9. **Aspect de l'arc.** — On peut observer le foyer voltaïque en atténuant

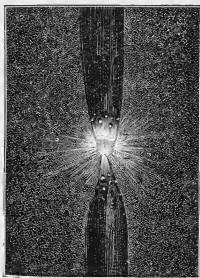


FIG. 43. — Arc voltaïque.

son éclat à l'aide d'un verre bleu. Mais le procédé le plus commode pour étudier

(1) Davy, *Phil. Transac.*, 1821, part. II, 487.

(2) D'après Quetelet, l'arc aurait déjà été observé par Cartet en 1802 (*Fortschritte der Physik*, 1850-51, p. 714).

l'arc consiste à en prendre l'image avec une lentille et à la projeter agrandie sur un écran. L'œil contemple alors sans fatigue cette image, que nous supposerons redressée, le charbon positif en haut. Ce qui frappe tout d'abord, c'est le peu d'intensité de l'arc et le vif éclat des charbons, surtout du charbon positif, beaucoup plus brillant que le négatif. La différence de forme des deux charbons n'est pas moins saisissante : le charbon positif se termine en cône fortement tronqué, le charbon négatif s'allonge en pointe à peine émoussée. Sur les deux cônes, mais particulièrement sur le cône négatif, des globules transparents apparaissent, glissent vers la pointe et s'évanouissent dans la flamme : ce sont les impuretés (silice dans le charbon de cornue, agglomérant dans les charbons artificiels) qui fondent et se volatilisent. Entraînées surtout vers la région la plus chaude, ces gouttelettes forment, quand on emploie certains charbons, une véritable pluie lancée vers le charbon positif. A première vue on pourrait donc croire à un transport de matière plus abondant suivant cette direction. C'est cependant l'inverse qui se produit.

10. Transport de matière dans l'arc. — Si en effet on opère dans le vide, on voit le charbon positif se creuser en un cratère, tandis que sur le charbon négatif se développe une excroissance, une sorte de champignon équivalent à la cavité du charbon positif. Il y a donc transport de matière dans le sens du courant. A l'air, les deux charbons se consomment : de là disparition des bords du cratère sur le charbon positif, disparition aussi, en général, du champignon sur le charbon négatif, et usure des deux charbons, mais usure inégale, et à peu près deux fois plus rapide pour le charbon positif que pour le négatif.

D'ailleurs, lorsque le courant a une intensité suffisante, on voit nettement dans l'arc des particules de matière allant du pôle positif au pôle négatif. Une dizaine d'années après la première observation de Davy, Silliman (1) constata ce transport, en examinant l'arc au moyen d'un verre coloré (vert), et depuis M. Lemonnier a confirmé l'existence du même phénomène. Matteucci (2) vit nettement, entre deux pointes en fer, la matière liquéfiée couler du pôle positif au pôle négatif. Van Breda (3), employant des électrodes de métaux différents (cuivre et fer), prouva qu'il y a transport dans les deux sens ; seulement l'effet prédominant a lieu dans le sens du courant.

D'autre part, Masson (4) montra par des expériences nombreuses que l'arc est un conducteur échauffé par le passage du courant comme le serait un fil métallique. Matteucci (5) vérifia le fait et trouva que la conductibilité de l'arc jaillissant entre deux métaux dépend moins de la conductibilité même de ces métaux que de la facilité avec laquelle ils peuvent se réduire en vapeur.

11. Constitution de l'arc : trait de feu, flamme. — Étant donné cet

(1) Silliman, *Journal of science*, XVI, 156; et *Ann. de chim. et de phys.*, 2^e série, XXIV, 216, 1823.

(2) Matteucci, *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, XXVII, 41, 1849.

(3) Van Breda, *Comptes rendus*, XXIII, 462, 1846; et *Pogg. Ann.*, LXX, 326, 1847.

(4) Masson, *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, XIV et XXX, 1845 et 1850.

(5) Matteucci, *loc. cit.*

afflux de matière arrachée aux deux charbons, l'arc doit être considéré comme essentiellement constitué par de la vapeur charriant des particules non volatilisées. Il est à ce point de vue absolument comparable à la flamme d'un gaz incandescent tenant en suspension des parcelles solides. Avec un peu d'attention on peut même distinguer dans l'arc deux parties : le *trait de feu* bleu, exclusivement gazeux ; et la *flamme* rougeâtre, composée d'un mélange de vapeurs et de particules solides. La flamme enveloppe ordinairement le trait de feu et lui donne une apparence violette ; mais dans certains cas elle s'en détache et remonte sur le charbon positif (1). Ces oscillations de la flamme sont une cause de variations d'intensité pour la lumière électrique.

D'après ce que nous venons de dire sur la nature de l'arc, on comprend que, pour le produire, il faut d'abord amener les charbons presque au contact, de façon à faire jaillir une première étincelle, puis les séparer progressivement, en profitant de ce que la distance explosive a considérablement augmenté par suite de la présence actuelle d'une matière conductrice entre les deux pointes. On comprend aussi comment le vent peut éteindre l'arc. On s'explique enfin pourquoi, si par une cause quelconque l'arc vient à se rompre, il faut de nouveau rapprocher les charbons pour le rétablir. Notons toutefois que, immédiatement après l'extinction, l'arc pourra se rallumer à distance pendant un temps qui s'élève jusqu'à 1/10 de seconde (Wartmann (2), Le Roux (3)) : on aura donc la faculté d'obtenir une lumière continue au moyen de courants alternatifs se succédant assez rapidement. D'autre part, M. Fusinieri (4) a montré qu'entre deux charbons éloignés, une forte étincelle pouvait par arrachement provoquer la formation de l'arc.

12. Influence de la nature des électrodes sur la longueur et l'éclat de l'arc. — Si l'on remplace les charbons par d'autres substances, sans faire varier le courant, on obtient des arcs de longueur et d'éclat différents suivant la nature des électrodes. Toutes choses égales d'ailleurs, l'arc est d'autant plus long que l'arrachement des particules est plus facile aux deux pôles et surtout au pôle positif : l'arc est plus long avec le charbon qu'avec le platine plus cohérent ; il est plus long avec le potassium, le sodium, le zinc, le mercure, qu'avec les métaux difficilement volatils (Grove (5)) ; il est plus long entre le charbon et l'argent quand l'argent est positif (Fizeau et Foucault (6)). La couleur et l'éclat de l'arc dépendent surtout de l'électrode positive : l'arc est d'autant plus brillant que cette électrode est plus volatile et plus oxydable (Grove). A l'appui de cette règle on peut citer un fait d'expérience journalière dans les laboratoires, et qui se produit toutes les fois que l'on rompt un courant assez intense en retirant un fil du mercure : si le fil est positif, on n'a qu'une vive étincelle ; s'il est négatif, on voit apparaître un véritable arc voltaïque, et le mercure se

(1) Niaudet, *loc. cit.*, p. 117.

(2) Wartmann, *Archives de Genève*, XXXVI, 325, 1857.

(3) Le Roux, *Comptes rendus*, LXV, 1149, 1867.

(4) Fusinieri, *Giorn. di Fisica di Brugnate*, VI, 1842.

(5) Grove, *Biblioth. univ. de Genève* (sciences et arts), XXV, 326, 1840. !

(6) Fizeau et Foucault, *Comptes rendus*, XVIII, 860, 1844.

volatilise avec bruit (Tyrtov (1)). M. Jamin (2) a fait à ce sujet des expériences intéressantes, sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

La configuration de l'arc dépend de la forme des électrodes. Entre une pointe et un disque l'arc dessine un cône, dont la hauteur maximum est plus grande quand le disque est positif (de la Rive (3)). L'expérience ayant d'abord été faite avec une pointe en platine et une lame de même métal, de la Rive remplaça la pointe de platine par une pointe en coke et, bien que cette dernière fût prise pour électrode négative, il vit la longueur de l'arc doubler : preuve que l'électrode négative n'est pas sans influence sur la formation de l'arc.

13. Influence de l'intensité du courant sur la longueur de l'arc. — Revenons au cas habituel où l'arc s'établit entre deux charbons, et voyons comment sa longueur varie selon le courant employé. Pour étudier cette relation, Despretz (4) a employé successivement jusqu'à 600 éléments Bunsen. Avec 25 éléments montés en pile, la longueur de l'arc n'était pas mesurable : à peine constitué, l'arc se rompait aussitôt. Avec un nombre plus considérable d'éléments, l'arc persistait et on pouvait le mesurer : les éléments étant toujours disposés en une série unique, on trouva que la longueur, surtout pour les petits arcs, croît plus vite que le nombre des éléments : « l'arc produit par 100 éléments est presque quadruple de celui que donnent 50 éléments ; celui de 200 n'est pas trois fois celui de 100 ; celui de 600 est entre sept et huit fois l'arc de 100. Cet arc de 600 atteignait presque deux décimètres. »

Montant ensuite les éléments en 24 piles, ou séries distinctes, de 25 éléments chacune, on observa :

Avec 1 série (25 éléments)....	pas d'arc persistant.
2 — (50 —)....	pas encore d'arc, mais grande flamme.
3 — (75 —)....	l'arc a 1 ^{mm} de longueur.
.....
24 — (600 —)....	l'arc atteint 11 ^{mm} ,5.

Ainsi l'arc nécessite pour s'établir une certaine force électromotrice qui ne peut pas être inférieure à celle de 25 éléments Bunsen (ce chiffre a été confirmé par M. Edlund) et, une fois établi, il se comporte comme un conducteur très résistant auquel le montage de la pile en série, ou suivant l'expression courante *en tension*, permet de donner une plus grande longueur que le montage en batterie ou *en quantité*.

14. Résistance de l'arc, force électromotrice de l'arc. — Plus tard, en mesurant l'intensité du courant au moyen d'un voltamètre, Matteucci constata qu'elle variait peu avec la longueur de l'arc. Mais Edlund (5) le premier

(1) Tyrtov, *Pogg. Ann.*, LXX, 85, 1849.

(2) Jamin, *Comptes rendus*, XCV, 1882.

(3) De la Rive, *Archives*, I, 262, 1841.

(4) Despretz, *Comptes rendus*, XXX, 367, 1850.

(5) Edlund, *Pogg. Ann.*, CXXI, 586, 1867, et CXXXIV, 280, 1878.

détermina nettement les rapports qui existent entre l'arc et le courant. Il reconnut que l'arc présente :

- 1° Une *résistance*, comme tout conducteur traversé par un courant ;
- 2° Une *force électromotrice* inverse, semblable à la force électromotrice d'induction.

De façon que si l'on mesure la *résistance équivalente* de l'arc, c'est-à-dire la résistance d'un fil inerte qui, substitué à l'arc dans le circuit, donne au courant la même intensité, on mesure en réalité la somme des effets dus à deux causes différentes.

Edlund a démontré cette proposition importante par deux sortes d'expériences :

1° Il mesura la résistance équivalente pour des longueurs de l'arc : 0^{mm},4, 0^{mm},8, 1^{mm},2, 1^{mm},6, 2^{mm},0, et 2^{mm},4. Il trouva que ces mesures pouvaient se représenter par la formule $a + bl$, a et b étant deux constantes dont la première a varie à peu près en raison inverse de l'intensité du courant et dont la deuxième b décroît beaucoup plus vite quand l'intensité du courant augmente. Ainsi la résistance équivalente se compose de deux quantités, dont l'une a est indépendante de la longueur, et peut se traduire par une force électromotrice inverse, correspondant à l'effort mécanique nécessaire pour arracher les particules de charbon aux deux électrodes : cette force diminuera avec la cohésion, elle diminuera par conséquent si, l'intensité augmentant, la température des charbons s'élève. L'autre quantité bl est la résistance ordinaire ; elle est proportionnelle à la longueur de l'arc ; elle diminue très vite quand l'intensité et par suite la température augmentent : on sait que déjà pour le charbon solide la résistance décroît rapidement quand la température s'élève.

2° Au moyen d'un commutateur rapide permettant de mettre les deux extrémités de l'arc en rapport avec un galvanomètre 1/80 de seconde après la rupture du courant, Edlund a recueilli un courant inverse dont il a pu mesurer l'intensité. Le sens de ce courant atteste indubitablement l'existence d'une force électromotrice inverse ; et l'indication galvanométrique permet d'estimer la force électromotrice existant encore 1/80 de seconde après l'interruption du courant. On a trouvé ainsi 16,8 volts, l'arc étant produit par une pile de 26 Bunsen, et 26 volts, l'arc étant produit par une pile plus forte.

M. Le Roux (1) a constaté dernièrement que la force électromotrice de l'arc persiste plus de 2/10 de seconde après la rupture. Malgré cela, les nombres d'Edlund sont certainement inférieurs aux valeurs réelles pendant le passage du courant, la force électromotrice inverse décroissant très rapidement à partir du moment où l'arc est rompu.

Sir William Thomson (2) a mesuré au moyen de son électromètre la différence de potentiel entre les deux porte-charbons, c'est-à-dire sensiblement entre les deux extrémités de l'arc. M. Niaudet (3) a repris les mêmes expériences avec un galvanomètre Deprez étalonné. Ces mesures de différence de potentiel, comme

(1) Le Roux, *Comptes rendus*, XCII, 709, 1831. D'après M. Le Roux, la réaction de l'arc est un phénomène thermo-électrique : « le charbon serait positif par rapport à sa vapeur, à un degré croissant avec la température. »

(2) Thomson, *Papers*.

(3) Niaudet, *loc. cit.*

celles de résistance équivalente, englobent les effets de la résistance et de la force électromotrice ; mais, ainsi que l'a montré M. Joubert (1) sur la bougie Jablochkoff, la chute de potentiel est due principalement à la force électromotrice de l'arc.

On a reconnu que la différence de potentiel est plus grande (et par suite l'intensité moindre) quand l'arc est silencieux. Elle fait un saut brusque lorsque le sifflement commence ou cesse. Ce sifflement, désagréable en lui-même, est généralement accompagné d'un mouvement de la flamme, et par suite d'une vacillation de la lumière, qui constitue un inconvénient sérieux au point de vue de l'éclairage.

15. Action d'un courant, de la terre, d'un aimant sur l'arc voltaïque. — L'arc voltaïque, n'étant à proprement parler qu'une vapeur incandescente traversée par le courant, doit obéir aux lois générales de la mécanique des courants, telles que les a formulées Ampère.

Un courant agit en effet sur l'arc comme sur un conducteur mobile, l'attirant ou le repoussant conformément aux principes fondamentaux de l'électro-dynamique ; ces actions ont été utilisées dans certains appareils d'éclairage (bougie Wilde ou Debrun, bougie Jamin).

L'influence de la terre sur l'arc n'est pas moins nette. En disposant les charbons horizontaux perpendiculairement au plan du méridien magnétique, Despretz (2) avait trouvé l'arc plus long quand le pôle positif était à l'est, c'est-à-dire quand l'électricité dans l'arc suivait le sens du courant terrestre : avec 200 couples montés en deux séries parallèles, la longueur était dans ce cas 20^{mm},8 ; elle n'atteignait que 16^{mm},5 quand le pôle positif était à l'ouest.

L'aimant enfin agit énergiquement sur l'arc. Annoncée par Arago au lendemain de l'expérience d'Erstedt, constatée peu après par Davy, cette action



FIG. 44. — Action d'un électro-aimant sur l'arc voltaïque.

a été étudiée par de la Rive (3), qui fit sur ce phénomène plusieurs observations curieuses. Mais l'expérience la plus remarquable à ce sujet est celle de

(1) Joubert, *Comptes rendus*, XCI, 1880.

(2) Despretz, *loc. cit.*

(3) De la Rive, *Archives de l'électricité*, III et IV, 1846 et 1847, et *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, XIX, 1847.

M. Quet (1). Il amena en regard de l'arc, produit normalement entre deux charbons verticaux, les deux pôles d'un fort électro-aimant à branches horizontales, et il vit l'arc se courber et se transformer en un dard long et bruyant semblable à celui du chalumeau, ce qui établissait l'existence d'une résultante perpendiculaire au plan mené par les pôles et par la ligne des charbons. « Il devait précisément en être ainsi d'après la règle d'Ampère, puisque la force relative à chaque pôle est perpendiculaire au plan qui passe par le pôle et par l'élément de courant. Les expériences étaient faites avec une pile capable de donner un arc de 4 millimètres de longueur. Si les charbons étaient placés à plus de 1 millimètre de distance, l'action de l'électro-aimant rompait l'arc avec un bruit sec. Il fallait rapprocher beaucoup les charbons pour que la lumière ne fût pas soufflée et éteinte par l'électro-aimant; mais alors le dard se formait et la ligne lumineuse, au lieu d'avoir 4 millimètres de long, prenait une étendue neuf ou dix fois plus grande. » L'expérience réussit d'ailleurs très bien, simplement avec un petit aimant.

16. Température de l'arc et des charbons. — La température de l'arc voltaïque est extrêmement élevée: le platine y fond comme de la cire à la flamme de la bougie; les corps les plus réfractaires y sont fondus ou volatilisés.

Avec sa pile de 600 éléments, Despretz (2) a fait sur la chaleur de l'arc des expériences très intéressantes. Une baguette de charbon introduite dans l'arc se ramollit, se courba, se souda à elle-même. De petits fragments de charbon de diverses provenances, placés dans un creuset en charbon pris pour électrode positive, se transformèrent sous l'action du feu électrique en globules de graphite incrustés au fond du creuset. Le diamant, de même que les autres variétés de carbone, donna du graphite. D'ailleurs, ainsi que l'avaient déjà constaté MM. Fizeau et Foucault (3), les baguettes d'une lampe électrique sont toujours au bout de quelque temps recouvertes de graphite à leur extrémité: on le reconnaît aisément à ce qu'elles sont devenues traçantes comme nos crayons ordinaires. Cette transformation en graphite est en réalité une cristallisation par sublimation. En plaçant les charbons dans le vide, Despretz vit se former un nuage noir, qui remplit bientôt tout l'appareil, déposant sur les parois une poussière abondante, laquelle n'était autre chose que du graphite. Le charbon s'était donc volatilisé et avait par refroidissement cristallisé en graphite. Il a même paru à Despretz qu'en ralentissant la sublimation on pourrait obtenir le carbone cristallisé en petits octaèdres réguliers, c'est-à-dire en petits diamants. Despretz étendit ses expériences à un grand nombre de substances. La plupart des corps très réfractaires (chaux, magnésie, etc.), se comportent comme le charbon, se volatilisant plus facilement qu'ils ne fondent. Pour ces opérations, à l'exemple de MM. Fizeau et Foucault, on donne au charbon inférieur la forme d'une petite coupe dans laquelle on met la substance à étudier. On a soin de prendre le charbon inférieur pour pôle positif, parce que la chaleur comme la lumière est beaucoup plus forte à ce pôle.

(1) Quet, *Comptes rendus*, XXXIV, 805, 1852, et *Rapport sur les progrès de l'électricité du magnétisme*, p. 21, 1867.

(2) Despretz, *Comptes rendus*, XXVIII, 755, et XXIX, 48, 545 et 709; 1849.

(3) Fizeau et Foucault, *Comptes rendus*, XXVIII, 860, 1844.

D'après M. Rossetti (1), la température de l'extrémité positive atteindrait près de 4000 degrés, celle de la pointe négative 3000 degrés ; l'arc lui-même serait à 4800 degrés environ.

17. **Métallisation des charbons.** — Quand on éteint une lampe électrique fonctionnant depuis un certain temps, on remarque que les deux char-

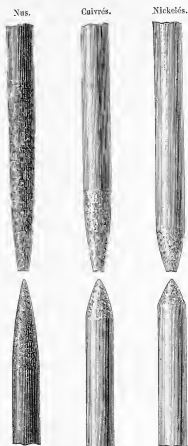


FIG. 45. — Taille des charbons nus ou métallisés.

bons sont rouges sur une grande longueur à partir de l'extrémité, particulièrement le charbon positif. Cette incandescence, qui pendant le fonctionnement de la lampe est masquée par l'éclat de l'arc, entraîne une combustion et par suite une usure latérale inutile des charbons, surtout du charbon positif. M. Reynier (2) a imaginé un moyen très simple d'obvier à cet inconvénient : il dépose galvaniquement sur les charbons une mince couche de métal (cuivre ou nickel) ; l'usure inutile se trouve alors considérablement réduite et la taille des charbons

(1) Rossetti, *Journal de physique*, VIII, 257, 1879.

(2) Reynier, *brevet* du 11 octobre 1875.

est modifiée comme le montre la figure 45. Le tableau suivant résume les expériences faites à ce sujet par M. Reynier :

Diamètre des charbons.	État de la surface.	Longueur dépensée en 1 heure			Longueur de la taille		Intensité lumineuse.
		au pôle positif.	au pôle négatif.	totale.	au pôle positif.	au pôle négatif.	
		millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	Carrels.
7 millimètres.....	nue.....	166	68	234	53	23	947
	cuivrée..	146	40	186	24	10	?
	nickelée.	106	38	144	12	7	946
9 millimètres.....	nue.....	104	50	154	45	22	528
	cuivrée..	98	34	132	27	7	553
	nickelée.	68	36	104	21	7,5	516

Observations. — Au pôle positif, la taille est bonne avec le cuivre et excellente avec le nickel. Au pôle négatif, elle est un peu trop courte avec le nickel.

De ce tableau il ressort que la métallisation, sans modifier sensiblement l'intensité lumineuse (mais en colorant un peu la lumière), réduit sensiblement la dépense de charbon.

18. Lumière de l'arc. — L'arc voltaïque est accompagné d'une lumière éclatante, émanant principalement du pôle positif. Aucune autre lumière artificielle ne se rapproche autant de la lumière solaire comme intensité et comme composition.

MM. Fizeau et Foucault (1) ont trouvé que la lumière émanant de la région la plus brillante du pôle positif, avec une pile Bunsen, formée de 3 séries de 46 couples ou de 46 couples à grande surface, était à peu près le tiers de la lumière du soleil à midi d'une belle journée d'avril. La lumière Drummond n'était que la cent-quarante-sixième partie de cette même lumière solaire.

Ils reconnurent, d'autre part, que l'intensité du foyer électrique dépendait peu du nombre des éléments, mais beaucoup de leur surface : avec 80 éléments en une seule série, elle n'était pas beaucoup plus forte qu'avec 40 ; elle croissait au contraire beaucoup si, au lieu d'une seule série de 40, on en prenait deux réunies par les pôles de même nom. Cette observation a été confirmée par les expériences de Despretz (2), qui déclare que le nombre des éléments de la pile en tension n'exerce que peu d'influence sur l'intensité de la lumière, tandis que « si l'on monte la pile en quantité, l'énergie lumineuse croît presque proportionnellement à la surface des éléments : 200 couples en deux séries parallèles de 100 chacune éclairent à peu près deux fois plus que 100 éléments simples, et ainsi successivement jusqu'à 600 éléments disposés en six séries parallèles de 100. »

La lumière électrique a une couleur blanc violacé, due à l'abondance des rayons violets et ultra-violets. Ces rayons étant très absorbables par la vapeur d'eau, comme l'a montré M. Janssen (3), pourront même être plus nombreux dans la

(1) Fizeau et Foucault, *loc. cit.*, et *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, XI, 370. 1844.

(2) Despretz, *Comptes rendus*, XXX, 367, 1850.

(3) Janssen, *Ann. de chim. et de phys.*, 4^e série, XXIII, 274.

lumière électrique qu'ils ne le sont à certains jours dans la lumière du soleil après son passage à travers notre atmosphère. La richesse de l'arc voltaïque en rayons chimiques a frappé les premiers observateurs. Peu de temps après l'expérience de Davy, Brande (1) provoquait avec l'arc la combinaison du chlore et de l'hydrogène, le changement de couleur du chlorure d'argent, etc. Aujourd'hui l'usage de la lumière électrique est journalier dans les grands ateliers de photographie. Comme le soleil, elle produit la phosphorescence; et, dans les cours de physique, on s'en sert avantageusement pour les expériences relatives à ce curieux phénomène.

Au spectroscope, les charbons donnent un spectre continu, largement étendu depuis le rouge jusqu'à l'extrême violet. C'est même par l'observation de ce spectre que Foucault a, l'un des premiers, établi la continuité du spectre des solides incandescents.

Dans l'arc, Foucault vit des raies brillantes, que l'on reconnut plus tard appartenir, les unes à la vapeur du carbone, les autres au milieu dans lequel on opère. En plaçant au pôle positif, creusé en coupelle comme il a été dit plus haut, successivement divers métaux, Foucault retrouva les raies brillantes caractéristiques de chaque métal signalées par Wheatstone (2) et par Masson (3) dans l'étincelle jaillissant entre deux boules métalliques. Masson avait constaté que certaines raies apparaissent dans le spectre de tous les métaux. Angström (4) prouva que ces raies communes appartiennent au gaz dans lequel se produit l'étincelle. Van der Willigen (5) montra que, suivant la distance des électrodes, les raies du métal ou celles du gaz deviennent prédominantes : quand les électrodes sont très rapprochées, on ne distingue bien que les raies du métal; quand au contraire les électrodes sont très éloignées, les raies du gaz apparaissent presque exclusivement (6).

Somme toute, l'arc étant à peine lumineux, la lumière émise diffère moyennement peu de celle qui serait fournie par un solide ou un liquide incandescent à très haute température. Mais lorsque la température d'un corps solide s'élève progressivement, la qualité de la lumière émise change constamment. Suivant Draper (7), tous les corps solides commencent à émettre de la lumière à une même température, et cette lumière est d'abord uniquement du rouge, puis le

(1) Brande, *Phil. Trans.*, 1814.

(2) Wheatstone, *Report of the British Association*, 1835, et *Phil. Mag.*, VII, 299, 1835.

(3) Masson, *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, XXXI, 295, 1851.

(4) Angström, *Vetensk. Acad. Handlingar*, 1853, et *Pogg. Ann.*, XCIV, 141.

(5) Van der Willigen, *Pogg. Ann.*, CVI, 610, et CVII, 473, et *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, LVII, 367, 1859.

(6) Parmi les raies brillantes provenant du milieu traversé par la décharge, il faut compter une raie jaune qui se montre presque constamment à la place de la raie D de Fraunhofer et qui est due à la présence habituelle du sodium dans l'atmosphère. Or, si l'on fait passer un faisceau de rayons solaires à travers l'arc voltaïque et qu'on décompose ensuite ces rayons solaires à l'aide du prisme, on obtient un spectre dans lequel la raie obscure D est beaucoup plus foncée que pour des rayons n'ayant pas traversé l'arc. Ainsi l'arc voltaïque absorbe spécialement les rayons mêmes qu'il est capable d'émettre. Il en est ainsi généralement de toute vapeur incandescente. C'est par cette expérience que Foucault fut amené, en 1849, à la découverte de la relation fondamentale entre les pouvoirs émissif et absorbant des gaz incandescents.

(7) Draper, *Phil. Mag.*, XXX, 345, 1847.

spectre s'étend peu à peu et d'une manière continue (4) : au rouge s'ajoutent successivement l'orangé, puis le jaune, puis le vert et enfin toutes les nuances du bleu. A mesure que de nouvelles radiations s'introduisent, les radiations qui ont précédé deviennent elles-mêmes plus intenses, de sorte que l'intensité de la radiation totale croît très vite avec la température. Ces faits, confirmés par M. E. Becquerel (2), sont d'ailleurs des conséquences nécessaires des principes posés par M. Kirchhoff (3) et qui servent de base à l'analyse spectrale.

Les expériences de Draper ont principalement porté sur le platine : en chauffant graduellement un fil de platine au moyen d'un courant électrique d'intensité croissante et en observant avec un prisme l'apparition successive des diverses radiations, Draper a trouvé que le spectre s'étendait :

A 535° (4) (rouge sombre)	jusque vers B ;
654 (rouge)	jusqu'à F ;
718 (rouge vif)	jusqu'au milieu de l'espace entre F et G ;
782 (orangé)	jusqu'à G ;
1165 (orangé blanc)	au delà de H.

J'ai étudié au spectrophotomètre, pour le platine également, l'accroissement des diverses radiations simples avec la température (5). J'ai ainsi trouvé, les températures étant exprimées en degrés du thermomètre à air et les intensités étant rapportées à celles de la lampe Carcel type :

Températures	Intensités			
	$\lambda = 656,$ C.	$\lambda = 589,2,$ D.	$\lambda = 585,$ (E = 527).	$\lambda = 482,$ (F = 486).
775°	0,00300	0,00060	0,00030	»
954	0,01544	0,01405	0,00715 (?)	»
1045	0,0505	0,0402	0,0265	0,0162
1500	2,371	2,417	2,198	1,894
1775	7,829	8,932	9,759	12,16

Si donc on prend pour unité, dans la mesure des diverses radiations simples, l'intensité lumineuse du platine incandescent à 954 degrés (température de fusion de l'argent), les intensités relatives sont :

775°	0,19	0,05	0,04	»
954	1	1	1	(1)
1045	3,27	3,64	3,71	(3,80)
1500	154	219	307	(525)
1775	507	809	1365	(2986)

(1) Il y a exception pour l'erbine et les terres analogues.

(2) E. Becquerel, *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, LXVIII, 49, 1863.

(3) Kirchhoff, *Pogg. Ann.*, CIX, 245, et *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, LIX, 124 et LXII, 160.

(4) Il ne faudrait pas attacher à ces températures une valeur trop rigoureuse, la manière dont elles étaient déterminées ne comportant pas grande précision. Les nombres de Draper n'en ont pas moins de l'importance comme indiquant nettement la marche générale du phénomène.

(5) Violle, *Comptes rendus*, avril et mai 1881.

Ainsi, quand la température s'élève, chaque radiation simple augmente, mais l'accroissement est surtout rapide pour les lumières les plus réfrangibles.

19. Photométrie des foyers électriques. — La lumière produite par l'électricité diffère notablement de celle des foyers ordinaires. De là une grande difficulté à la mesurer avec les anciens étalons, très convenables au contraire quand il s'agit d'évaluer les pouvoirs éclairants des huiles, des graisses ou des gaz.

En France, l'unité adoptée pour les mesures photométriques du gaz d'éclairage est la lampe Carcel type, proposée par Fresnel (1) et établie par Dumas et Regnault (2), la lampe Carcel brûlant 42 grammes d'huile à l'heure. En Angleterre, l'unité photométrique est la bougie de blanc de baleine de six à la livre anglaise de 453 grammes, la *candle* : 9,6 candles = 1 carcel. En Allemagne, l'étalon est, la bougie de paraffine, de six à la livre de 500 grammes, la *vereinskerze* : 7,6 kerzen = 1 carcel. Ces rapports toutefois sont quelque peu variables, les bougies étant difficilement identiques. La lampe, au contraire, constitue un étalon suffisamment fixe, à condition que l'on prenne les précautions requises.

Comparer à un étalon une lumière de même couleur est une opération qui peut se faire de différentes manières; mais tout procédé photométrique revient en fin de compte à placer la lumière et l'étalon devant un même écran dans des conditions identiques, de façon que l'une et l'autre éclairent respectivement une seule partie de l'écran. Les deux éclairagements ainsi obtenus paraissant en général différents, on diminue suivant une loi géométriquement connue l'action de la lumière la plus forte jusqu'à ce que l'œil juge que les deux plages contiguës sont également éclairées : si $\frac{1}{n}$ est alors le rapport dans lequel est réduite l'action de la source la plus vive, on dit que son action est n fois celle de la plus faible. Cette définition admet pour point de départ la sensation et en cela elle est parfaitement rationnelle, ce qu'il nous importe de déterminer étant l'intensité de la lumière perçue par notre œil et non pas l'intensité de tel autre effet (thermique ou chimique) qui n'a avec le premier aucun rapport connu. Mais de ce que la mesure est ainsi subjective quant au procédé, elle n'en est pas moins objective quant au résultat : elle correspond vraiment à un mode de la lumière elle-même. Sans pouvoir en effet spécifier ce qui dans la lumière produit la sensation physiologique, nous savons que la cause de ce phénomène est, ainsi que la lumière elle-même, soumise à certaines lois géométriques. Nous pouvons donc modifier la cause dans un rapport théoriquement déterminé (comme nous l'avons fait pour amener l'égalité), et la mesure sera objectivement exacte si elle concorde avec la variation théoriquement établie. Or c'est bien ce qui a lieu ici ; car si, après avoir obtenu l'égalité des deux éclairagements, nous réduisons par exemple de moitié la distance de chacune des sources à l'écran,

(1) Fresnel, *Œuvres complètes*, III.

(2) Voyez dans les *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, LXV, 423, 1862, le mémoire d'Audoïn et Bérard où sont relatées les instructions de MM. Dumas et Regnault, et sur le même sujet l'article de M. Le Blanc dans les *Séances de la Société française de physique*, 1876, p. 11.

de manière à quadrupler isolément chaque effet, les deux éclairagements paraîtront encore égaux : la mesure sera la même. Il en est encore ainsi quand on change de photomètre, quand par conséquent on fait intervenir une autre forme d'action sur l'œil. La comparaison de deux lumières de couleur identique est donc une opération bien définie.

On ne saurait en dire autant lorsqu'il s'agit de deux couleurs différentes. Il est incontestable que, rigoureusement parlant, le jaune, je suppose, n'est pas comparable au bleu (1). On conçoit cependant que deux lumières de colorations différentes puissent être amenées à des intensités qui nous fassent distinguer également certains détails d'un objet. Et en passant aux faits, on trouve que non seulement il est possible d'obtenir ainsi le même *degré d'acuité visuelle* (2), mais que, de plus, l'œil permet d'estimer à 1/30 près environ l'égalité d'éclairement de deux plages différemment colorées. Il pourrait donc sembler que la comparaison directe de deux lumières de couleurs différentes ne soit pas pratiquement irréalisable. Mais, comme l'a dit M. Helmholtz (3), « de toutes les comparaisons effectuées à l'aide de l'œil entre les intensités de différentes sortes de lumières composées, il n'en est aucune qui possède une valeur objective, indépendante de la nature de l'œil ». Cela tient au phénomène de Purkinje (4), que M. Helmholtz (5) énonce ainsi : « l'intensité de la sensation est une fonction de l'intensité lumineuse qui diffère suivant l'espèce de lumière. » Si par exemple, deux plages, l'une jaune et l'autre bleue, étant amenées à paraître également lumineuses, nous réduisons de moitié, comme précédemment, les distances respectives des deux lumières, la plage bleue paraîtra plus sombre; si au contraire nous doublons les distances, la plage bleue paraîtra plus brillante. Avec le bleu en effet, et c'est là le phénomène découvert par Purkinje, l'intensité de la sensation croît et décroît plus lentement qu'avec le jaune, pour une même variation de l'intensité lumineuse objective (6).

En conséquence, le seul procédé exact pour comparer une lumière quelconque à une autre lumière prise pour étalon consiste à les décomposer toutes les deux au moyen d'un prisme et à mesurer l'intensité de chacune des couleurs du spectre de la lumière proposée relativement à l'intensité de la même couleur dans le spectre de la lumière étalon. Au lieu d'un nombre unique, on a donc une série de nombres définissant les intensités respectives des diverses radiations

(1) S'il ne s'agissait pas nécessairement en photométrie de la lumière telle que la perçoit l'œil, si par conséquent on pouvait considérer la lumière indépendamment de son effet physiologique, il n'y aurait aucune difficulté à comparer l'énergie d'une radiation jaune avec celle d'une radiation bleue : ce sont quantités de même espèce et par suite comparables. Mais quand il s'agit d'éclairage, on ne saurait raisonnablement faire abstraction de la couleur.

(2) Voy. Macé de Lépinay et Nicati, *Ann. de chim. et de phys.*, 5^e série, XXIV, 289, 1881.

(3) Helmholtz, *Optique physiologique*, 317 (p. 420 de la traduction).

(4) Purkinje, *Zur physiologie der Sinne*, II, 109.

(5) Helmholtz, *loc. cit.*, 348 (421).

(6) Voy. Macé de Lépinay et Nicati, *loc. cit.* Un résultat important de leurs recherches est que le phénomène de Purkinje se produit seulement pour les radiations plus réfrangibles que $\lambda = 0^{\mu},507$ (marquant le passage du vert pur au vert bleu); de sorte que des lumières ne contenant que des radiations au-dessous de cette limite sont directement comparables, quoique de couleurs différentes.

simples. Dans le cas seulement où tous ces nombres seront égaux, l'intensité lumineuse pourra se représenter par un nombre unique, la source étant alors de même espèce que l'étalon.

On voit l'intérêt qu'il y aurait à posséder pour la lumière électrique un étalon remplissant les conditions auxquelles la lampe Carcel satisfait suffisamment pour le gaz : elle est assez constante pour que ses variations soient négligeables dans la pratique courante ; elle est d'une grandeur bien comparable à celle des sources à la mesure desquelles elle est destinée (1) ; enfin son spectre a une composition analogue à celui de ces mêmes sources.

Au cours des recherches dont il a été question plus haut, Draper avait proposé d'adopter comme étalon un fil de platine rendu incandescent par le passage d'un courant électrique : cette idée a été reprise récemment par M. Schwendler (2), dont l'étalon P. L. S. (Platinum Light Standard) n'a malheureusement pas la constance nécessaire, le métal éprouvant par suite du passage prolongé du courant un changement moléculaire d'où il résulte qu'un courant d'intensité supposée constante, traversant la mince lame de platine, ne la maintient pas à une température fixe. D'autre part, il faut nécessairement laisser la lame au-dessous du point de fusion, tandis qu'il y aurait grand avantage à posséder un étalon à la température la plus élevée possible.

On obtient au contraire de bons résultats en prenant pour étalon, comme je l'ai proposé (3), la lumière émise par un centimètre carré de platine à la température de fusion du métal. Cet étalon offre en effet une constance absolue ; l'intensité est considérable et les radiations bleues et violettes sont déjà très accusées.

Jusqu'ici toutes les mesures ont été prises avec la lampe type ou avec une bougie étalon ; elles ne doivent donc être considérées que comme des approximations, d'autant plus grossières qu'elles seront exprimées par des nombres plus élevés. Les photomètres employés ont été à peu près exclusivement le photomètre Foucault (modèle de Deleuil) ou le photomètre Bunsen (4).

20. Intensité moyenne ; courbe des intensités lumineuses. — Pour déterminer l'intensité d'un bec de gaz par rapport à la lampe Carcel étalon, on se contente en général de comparer les rayons émis horizontalement par les

(1) Ce point est très important, comme l'a bien fait ressortir M. Dumas au Congrès des électriciens (*loc. cit.*), les nombres trop grands n'offrant plus à l'esprit un sens net. Cependant, si les anciennes unités n'avaient par rapport aux nouveaux luminaires que cet inconvénient d'être trop faibles, on pourrait y remédier par l'emploi de multiples convenables. C'est ainsi qu'en France, au service des phares, on emploie pour les fortes intensités un bec de 7 carcel et qu'à Trinity House M. Douglass se sert d'une lampe à 6 mèches de 722 candles.

(2) Schwendler, *Phil. mag.*, VIII, 392, 1879, et *Journal de Physique*, IX, 135.

(3) Violle, *Comptes rendus du Congrès des électriciens*, p. 352, 1881.

(4) Ce photomètre, dont on se sert beaucoup hors de France, consiste simplement en une feuille de papier marquée en son milieu d'une tache de graisse, ou mieux en une feuille de papier parchemin percée d'un trou recouvert de papier végétal. Derrière cette feuille est placée une bougie ou une lampe constante ; par devant on installe successivement chacune des deux lumières à comparer ; on modifie l'éclairement produit par la lumière en expérience de manière à ce que la tache ne se distingue plus : les deux éclaircissements, produisant l'un après l'autre cette même disparition, sont nécessairement égaux.

deux sources. Avec l'arc voltaïque on ne peut pas procéder aussi simplement. Tandis que le rayonnement de la lampe est, par suite de la transparence de la flamme, maximum dans le plan horizontal, au contraire dans le foyer électrique le charbon supérieur positif, creusé en coupe, rayonne surtout vers le bas et renvoie le rayon maximum à 50 degrés environ au-dessous de l'horizon. Il ne suffit donc plus de mesurer l'intensité de la lumière émise dans le plan horizontal, il faut encore la mesurer pour diverses inclinaisons (de 15 en 15 degrés par exemple) (1). Si les deux charbons sont bien placés verticalement l'un au-dessus de l'autre, tout est symétrique autour de la verticale et il suffit de déterminer la distribution de la lumière dans un seul azimuth. Ces mesures prises, on imaginera une sphère ayant son centre au foyer lumineux, on la décomposera en zones horizontales assez étroites pour que l'on puisse considérer chacune d'elles comme uniformément éclairée; on multipliera la surface de chaque zone par l'intensité lumineuse émise dans la direction moyenne qui lui correspond et l'on divisera la somme des produits par la surface de la sphère. On aura ainsi l'*intensité moyenne* (2). Voici par exemple les résultats obtenus au service des phares avec un régulateur Serrin muni de crayons Sautter et Lemonnier de 16 millimètres de diamètre et alimenté par une machine Gramme (type d'atelier) marchant à 600 tours par minute; dans le même tableau, on a rapporté les nombres fournis par un autre régulateur Serrin garni de charbons Carré de 14 millimètres et servi par une machine à courants alternatifs de l'*Alliance*, modèle à cinq disques, faisant 450 tours à la minute :

Angles avec l'horizon.	Intensités de la lumière.		Surfaces des zones sphériques.	Produits des intensités par les surfaces.	
	Machine Gramme (fig. 46).	Machine de l' <i>Alliance</i> (fig. 47).		Gramme.	<i>Alliance</i> .
Degrés.	Careels.	Careels.			
90.....	»	»	0,054	»	»
75.....	30	120	0,424	43	51
60.....	70	240	0,820	57	197
45.....	120	270	1,160	139	313
30.....	170	280	1,421	242	398
15.....	240	290	1,584	380	459
0.....	350	505	1,640	574	500
15.....	470	300	1,584	745	475
30.....	580	295	1,421	824	419
45.....	660	285	1,160	766	331
60.....	570	275	0,820	467	226
75.....	200	215	0,424	85	91
90.....	»	»	0,055	»	»
Moyennes.....	342	275			

(1) Allard, *Mémoire sur l'intensité et la portée des Phares*; Paris, 1878; p. 210. — Fontaine, *Séances de la Société française de physique*, 1880, p. 157. — Rousseau, *Comptes rendus du Congrès international des électriciens* en 1881.

(2) Allard, *Mémoire sur les Phares électriques*, Paris, 1881, p. 120.

Les figures ci-jointes donnent pour chacun des foyers la *courbe des intensités lumineuses* dans un plan vertical.

On voit que pour le foyer alimenté par un courant continu, la courbe présente grossièrement la forme d'une ellipse dont le grand axe serait incliné d'environ 50 degrés sous l'horizon : l'intensité horizontale est sensiblement la moitié du maximum et très voisine de l'intensité moyenne ; la quantité totale de lumière envoyée au-dessous de l'horizon est environ le triple de celle que reçoit la partie supérieure. Mais ces relations varient d'un foyer à un autre (simplement

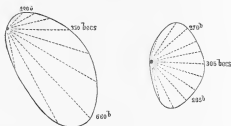


FIG. 46 et 47. — Courbes des intensités lumineuses d'une lampe Serrin, alimentée par un courant continu ou par des courants alternatifs.

d'après la grosseur des charbons) et il est nécessaire de déterminer dans chaque cas la courbe des intensités lumineuses.

Avec les courants alternatifs de la machine de l'*Alliance*, la courbe, comme on devait s'y attendre (les deux charbons ayant alors tous les deux même forme pointue), est à très peu près symétrique ; il y a cependant un excès de lumière de près de 10 pour 100 au-dessous de l'horizon. Ce résultat tient sans doute à la flamme qui, en s'élevant au-dessus du foyer, absorbe une partie des rayons émis vers le haut. Cette montée de la flamme amène aussi une usure un peu plus grande du charbon supérieur, dans le rapport de 108 à 100 environ (1).

21. Artifice pour augmenter l'intensité de la lumière dans une direction déterminée. — Lorsqu'on veut projeter la lumière dans une direction déterminée, il est avantageux de porter en arrière l'axe du charbon positif : les crayons prennent alors la forme indiquée ci-contre. Ce petit artifice, employé depuis longtemps par M. Duboscq, permet d'envoyer dans la direction utile le rayonnement particulièrement intense de la concavité positive. Pour obtenir le maximum d'effet, il faut incliner la lampe de façon à démasquer complètement le charbon positif (ceci toutefois n'est possible que si l'arc a une longueur suffisante). La lumière suivant l'horizontale est alors environ le triple (2) de

(1) Allard, *loc. cit.*

(2) Sautter et Lemonnier, *Note sur les appareils photo-électriques pour la marine*, fig. 19 à 25, 1881.

l'éclairage moyen fourni par les charbons en prolongement concordant.

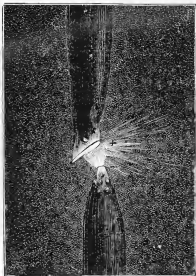


FIG. 48. — Disposition du charbon positif en arrière pour envoyer la lumière en avant.

D'après tout ce qui précède on comprend combien une simple mesure d'intensité d'arc voltaïque suivant l'horizontale peut entraîner d'erreurs, surtout si l'on ne veille pas attentivement à la disposition des charbons.

22. Charbons artificiels pour l'éclairage électrique. — L'homogénéité des charbons entre lesquels jaillit l'arc a une importance capitale pour la constance de la lumière. Aussi s'est-on appliqué à obtenir des charbons meilleurs que le charbon de cornue. Déjà Bunsen avait fabriqué pour ses piles des charbons artificiels, en agglomérant à la colle de la houille sèche finement pulvérisée, faisant cuire, puis trempant le produit dans du sirop de sucre, le faisant cuire de nouveau et répétant ce *nourrissage* jusqu'à ce que le charbon fût devenu absolument compact. En 1846, Staite et Edwards firent breveter un procédé analogue pour la fabrication de charbons destinés à la production de la lumière électrique. Peu de temps après, Jacquelin obtint des charbons très purs au moyen des goudrons de houille; mais il ne réussit pas à installer une fabrication pratique, pas plus qu'Archereau auquel on doit cependant le procédé de fabrication à la filière. M. Carré arriva le premier à une production industrielle, principalement par l'emploi d'une presse hydraulique pour le passage à la filière. La pâte qu'il emploie est formée comme il suit, d'après son brevet du 15 janvier 1876 :

Coke très pur en poudre fine. . . .	15 parties.
Noir de fumée calciné.	5 —
Sirop (30 de sucre, 12 de gomme). .	7 à 8 —

Après le passage à la filière, les baguettes sont placées horizontalement sur une couche de poussière de coke et cuites pendant cinq heures au rouge cerise; elles sont ensuite trempées dans un sirop concentré et bouillant, séchées, puis cuites de nouveau; et ainsi de suite jusqu'à ce qu'elles aient acquis la densité requise.

M. Gauduin fabrique avec du charbon de bois aggloméré des crayons, qu'il émaille ensuite extérieurement. La maison Siemens prépare également des crayons de bonne qualité, mais ses procédés ne sont pas connus.

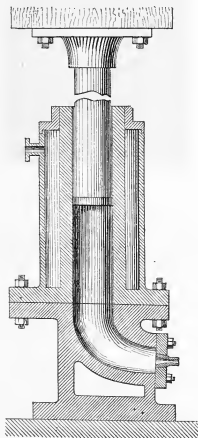


FIG. 49. — Filière courbe pour la fabrication des charbons Napoli.

M. Napoli a cherché à obtenir des charbons plus homogènes que ceux de M. Carré ou de M. Gauduin. Il forme sa pâte avec du goudron de houille et du

(1) Dans ces derniers temps, on a fait des charbons percés d'un trou suivant l'axe, ou munis d'une âme en charbon plus poreux, afin de mieux fixer l'arc.

coke retiré de ce même goudron; en outre, il emploie très peu d'agglomérant (1 seulement de goudron pour 3 de coke de goudron). Sa pâte étant très peu fluide, il faut faire usage d'une filière recourbée, et opérer le tréfilage à chaud. La figure 49 représente la filière surmontée de son cylindre entouré d'une chemise à vapeur, et la figure 50 montre l'appareil placé sur le plateau de la presse hydraulique. Les baguettes sont ensuite cuites au rouge sombre

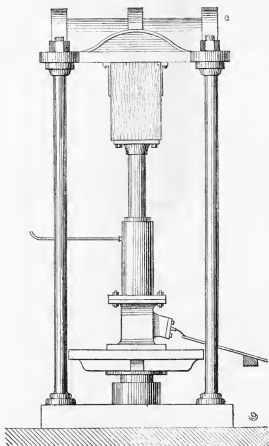


FIG. 50. — Filière Napoli munie de sa presse hydraulique.

(à la température même à laquelle a été obtenu le coke employé), puis au rouge blanc. Elles peuvent alors servir sans avoir été nourries. Il y a toutefois intérêt à augmenter encore leur densité : on les nourrit donc, en les plaçant dans le vase représenté figure 51, vase à double enveloppe que l'on chauffe à la vapeur, tandis qu'on y fait le vide de façon à enlever les gaz contenus dans les pores du charbon, puis on amène le liquide nourricier, enfin on

exerce une pression sur ce liquide pour le faire pénétrer dans les charbons,

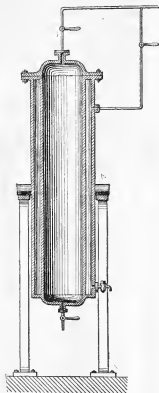


FIG. 51. — Vase pour le nourrissage des charbons Napoli.

qui sont alors lavés et portés au four. On répète une deuxième fois l'opération et on obtient un charbon très dense.

CHAPITRE III

APPAREILS A ARC VOLTAÏQUE

Ces appareils se partagent en plusieurs groupes :

- 1° Les lampes exigeant chacune un circuit spécial, ou lampes à lumière unique ;
- 2° Les lampes pouvant se placer en nombre quelconque sur un même circuit et permettant par conséquent la division de la lumière électrique ;
- 3° Les bougies.

1° Lampes à lumière unique.

23. Conditions auxquelles doit satisfaire un régulateur de lumière électrique. — Les lampes à foyer unique ne sont plus guère employées aujourd'hui, en dehors des laboratoires, que dans le cas où, comme pour les phares par exemple, on a besoin d'une lumière isolée très intense. Malgré cela, les régulateurs maintenant cette lumière fixe et constante méritent encore d'être étudiés à un double titre, d'abord parce qu'ils sont appropriés aux usages spéciaux que nous venons de rappeler, et surtout parce que les combinaisons mécaniques imaginées par leurs inventeurs se retrouvent à des degrés divers dans les appareils récemment créés en vue de régulariser l'arc jaillissant sur plusieurs points d'un même circuit.

Pour faire saisir la valeur relative des différents régulateurs à lumière unique, il convient en premier lieu de poser nettement les conditions que doit remplir tout bon régulateur. Il doit maintenir la lumière fixe dans l'espace et lui conserver une intensité constante, bien que les charbons s'usent et se consomment dans l'air, bien que cette usure, inégale aux deux pôles, soit en outre soumise aux accidents résultant du défaut d'homogénéité des charbons, bien que, enfin, l'intensité du courant subisse elle-même des changements incessants et inévitables. Si nous réunissons ces deux dernières causes qui, dans la pratique, entraînent également des variations accidentelles de l'arc électrique, nous voyons que tout régulateur doit parer : 1° à l'usure des charbons, laquelle tend sans cesse à les éloigner et, par conséquent, à augmenter la longueur de l'arc en affaiblissant son éclat ; 2° aux accidents qui menacent à chaque instant d'accroître ou de diminuer l'intensité de la lumière. Ajoutons à ces conditions l'allumage automatique, nécessaire dans un appareil industriel.

24. Régulateur Foucault. — Foucault, le premier (1), a donné une solution complète de la question en utilisant les variations mêmes du courant pour corriger les irrégularités de la lumière.

(1) À la même époque, Staite et Petrie, en Angleterre, construisaient un régulateur fondé sur les mêmes principes, mais qui ne paraît pas avoir été beaucoup employé.

La figure 52 représente le premier régulateur de Foucault.

Les charbons sont portés par deux chariots C et C' poussés l'un vers l'autre par les ressorts R et R' servant en même temps au passage du courant. Le chariot positif C est retenu par le cordon *p* qui ne se déroule « qu'en faisant, dit Foucault, défiler un rouage M dont le dernier mobile est placé sous la domi-

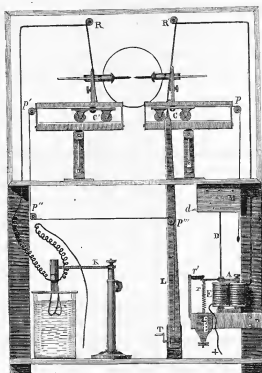


FIG. 52. — Régulateur Foucault (premier modèle, 1849).

nation d'une détente D. Le courant qui illumine l'appareil passe à travers les spires d'un électro-aimant E, dont l'énergie varie avec l'intensité du courant : cet électro-aimant agit sur un fer doux A sollicité d'autre part à s'en éloigner par un ressort antagoniste *r*. Sur ce fer doux mobile est montée la détente qui presse contre le rouage et l'enraye quand le courant se renforce, et qui le délivre quand le courant s'affaiblit. Un répartiteur de Robert Houdin *r'* (voy. plus loin) règle l'équilibre de l'armature A. Le chariot négatif C' est rendu solidaire du chariot C par le cordon *p' p'' p'''* et le levier L auquel ce cordon s'attache en *p'''*; à sa partie supérieure ce levier s'unit au porte-charbon positif; et il est visible que par cette disposition le déplacement du chariot C' sera moitié du déplacement de C. » Ainsi le point lumineux sera maintenu fixe en face du milieu de la lentille de projection. *d* est le levier d'arrêt du mouvement d'horlogerie M; T est un petit treuil au moyen duquel on peut déplacer

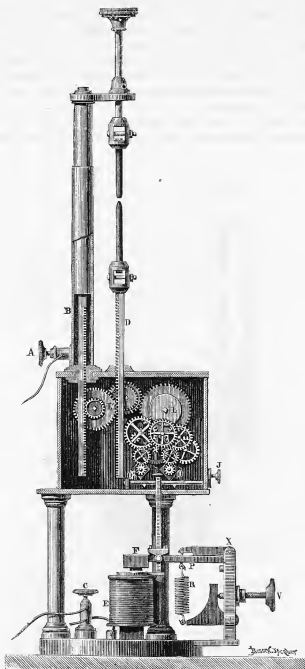


FIG. 53. — Régulateur Foucault, construit par Duboscq

à la main le chariot *C'*; *K* est un rhéostat placé sur le trajet du courant et formé de deux lames de platine disposées de telle sorte que le courant ne puisse passer de l'une à l'autre qu'à travers le liquide conducteur dans lequel elles plongent: en les élevant ou en les abaissant, on corrigeait les variations d'intensité de la pile qui fournissait le courant. Dans ce premier modèle, le mécanisme présentait plusieurs imperfections. Aidé de M. Duboscq, Foucault réussit à les faire disparaître et obtint un appareil qui a rendu les plus grands services à l'art des projections.

Cet appareil comprend deux mouvements d'horlogerie agissant en sens contraire et produisant l'un le recul, l'autre le rapprochement des charbons. Chaque

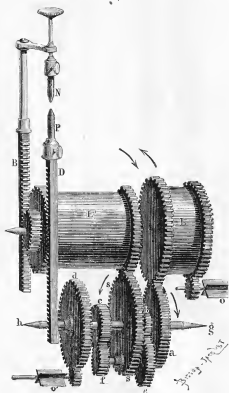


FIG. 54. — Mécanisme de la roue satellite dans le régulateur Foucault-Duboscq.

mouvement a pour dernier terme un volant: entre les deux volants *o* et *o'* est la tête *t* d'un marteau oscillant, fixé perpendiculairement sur l'armature *F* de l'électro-aimant *E*; à l'état normal, le marteau est vertical, les deux volants sont arrêtés. Mais si l'électro-aimant *E* ou le ressort antagoniste *R* l'emporte, le marteau s'incline d'un côté ou de l'autre, dégage le volant *o* ou le volant *o'*, de sorte

que les charbons s'éloignent ou se rapprochent (1). Ces mouvements sont très doux, l'armature pouvant prendre entre ses positions extrêmes toute une série de positions d'équilibre; à cet effet, le ressort antagoniste R ne lui est pas directement attaché; il est fixé à l'extrémité P d'une pièce articulée en X et dont la face inférieure, taillée suivant une certaine courbe, presse en roulant sur un prolongement qui représente ainsi un levier de longueur variable. Au moyen de ce *répartiteur*, l'action de l'électro-aimant est à chaque instant compensée par celle du ressort, et l'armature reste *flottante* entre ses arrêts.

Les porte-charbons sont munis de crémaillères B et D, engrenant avec une double roue fixée au barillet L': lorsque l'appareil est destiné à recevoir un courant continu, les rayons des roues sont dans le rapport 1/2; s'il doit au contraire fonctionner avec des courants alternatifs, les deux roues sont égales (2). Le barillet L', quand le volant o' est dégagé, produit directement le rapprochement des charbons. Le même barillet, quand le volant o devient libre, est mené en sens inverse par le barillet L plus puissant et, en se remontant lui-même, il éloigne les charbons. Pour obtenir ce double résultat, Foucault a emprunté à Huyghens l'emploi d'une roue s montée librement, ainsi que les roues a et b, sur l'axe gh des roues c, d, et portant deux satellites e et f. Dans le premier mouvement, ces satellites ne produisent aucun effet, et roulent simplement sur les roues b et c. Mais dans le deuxième cas, les deux roues solidaires a et b tournant dans le sens indiqué et à frottement doux sur l'arbre gh, la roue s est entraînée suivant la flèche, et le recul s'effectue.

La position initiale du point lumineux et ensuite la rectification des écarts, s'il y a lieu, s'obtiennent par deux sortes de mouvements à la main: 1° on peut déplacer le charbon supérieur seul; 2° les deux charbons peuvent monter ou descendre simultanément à volonté.

Tout étant mis en place et le mouvement d'horlogerie étant remonté, on lance le courant et on procède au réglage, en tendant plus ou moins le ressort antagoniste à l'aide de la vis V, et en rapprochant ou en éloignant de l'électro-aimant l'armature à laquelle on a donné à cet effet la forme d'un excentrique facile à déplacer au moyen de la queue dont il est muni. Quand l'appareil est bien réglé, les charbons s'usant, aucun mouvement brusque ne se produit: l'armature F, sollicitée par le ressort antagoniste, coule sur la courbe articulée X, et au dernier instant la tête du marteau t désembraye le volant o': les charbons se rapprochent jusqu'à ce que l'intensité du courant soit suffisante pour rétablir l'embrayage. Si les charbons sont trop rapprochés, la tête du marteau lâche le volant o, ce qui détermine un mouvement de recul.

Le régulateur de Foucault est un appareil de précision convenant exclusivement aux laboratoires, où il occupe aujourd'hui encore une place d'honneur; bien qu'entre les mains de M. Duboscq il fonctionne à l'Opéra depuis

(1) Le levier J est supposé sur *marche*, comme l'indique la figure: à 180 degrés de cette position, il y aurait *arrêt* de tout le mécanisme.

(2) Un mécanisme très simple permet d'établir l'une ou l'autre disposition, selon que l'on opère avec l'une ou l'autre des deux sources d'électricité.

1849, il n'a jamais passé et ne pouvait pas passer dans la pratique industrielle.

25. **Régulateur Archereau et dérivés : Gaiffe, Jaspar, Carré.** — Pendant que Foucault travaillait à son régulateur, Archereau (1850) en créait un autre, dans lequel un solénoïde S, agissant sur un noyau de fer doux KJ, suffisait sans aucun mouvement d'horlogerie à produire la régulation. De la simplicité presque trop grande du système résultait une brusquerie inadmissible pratiquement. Il y avait là néanmoins une idée féconde, que nous retrouverons dans maint appareil, et d'abord dans celui de M. Gaiffe (1859).

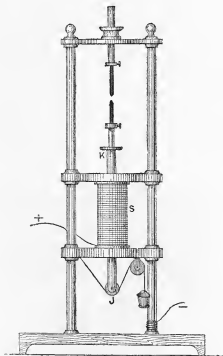


FIG. 55. — Régulateur Archereau.

Régulateur Gaiffe. — A l'état de repos, les charbons sont appuyés l'un contre l'autre par le ressort d'un barillet B, monté sur l'axe commun des roues R et R', d'inégal diamètre, avec lesquelles engrènent deux crémaillères fixées aux deux porte-charbon. Quand on ferme le courant, le porte-charbon inférieur est tiré vers le bas par le solénoïde S, qui va en grossissant à la partie inférieure, de façon à équilibrer l'action variable du barillet; le porte-charbon supérieur (positif) monte d'une quantité double; et ce mouvement continue jusqu'à ce que la tension du ressort du barillet équilibre l'action du solénoïde :

cette tension, et par suite la longueur de l'arc se règle au moyen d'une vis disposée à cet effet ; un bouton K permet d'agir simultanément sur les deux cré-

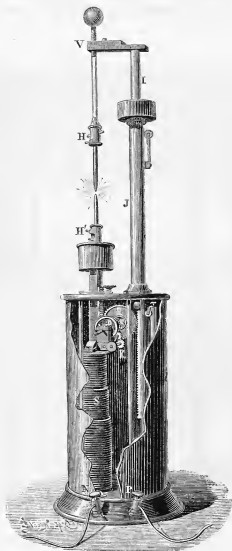


FIG. 56. — Régulateur Gaiffe.

maillères pour élever ou abaisser le point lumineux dans les expériences de projection. L'appareil de Gaiffe est peu employé aujourd'hui.

Régulateur Jaspar.— Sur le même type, M. Jaspar obtint un régulateur simple et exact : 1° en utilisant le poids du porte-charbon supérieur T comme moteur ; 2° en adoucissant les mouvements par une *cataracte*, c'est à-dire par l'afflux d'un liquide D (mercure) frottant contre la tige d'un piston relié au système mobile. Tout mécanisme d'horlogerie est supprimé. Le mouvement du porte-

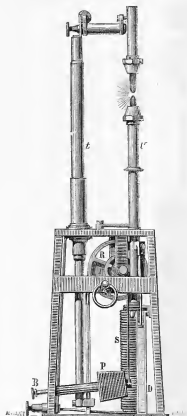


FIG. 57. — Régulateur Jaspar.



FIG. 58. — Lampe Jaspar à mécanisme supérieur.

charbon supérieur est transmis au charbon inférieur par un simple fil passant sur une roue à deux gorges R et terminé par un contrepoids P dont on règle l'effet à l'aide d'un bouton B. Au porte-charbon inférieur *t'* est fixé un noyau en fer doux s'engageant dans un solénoïde S, dont l'action est régularisée au moyen d'une masse *r* montée excentriquement à l'intérieur de la roue R.

Ce dispositif suffit pour parer à la consommation et pour remédier aux accidents. A l'Exposition internationale d'électricité, on a pu juger des qualités du régulateur Jaspar par les quatre foyers à mécanisme renversé qui étaient placés en haut des mâts dressés autour du pavillon de la Belgique, ainsi que par les trois lampes à réflecteur diffusant qui éclairaient la salle 15.

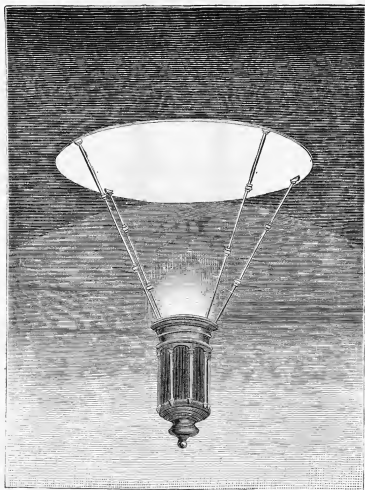


FIG. 50. — Régulateur Jaspar avec réflecteur diffusant.

Régulateur Carré. — Dans la lampe Carré, c'est encore le poids du porte-charbon supérieur qui tend à rapprocher les deux charbons ; mais ce mouvement

ne peut s'effectuer qu'en entraînant la rotation d'un système de rouages terminé par une roue à rochet *m*. Sur ce rochet agit un cliquet qui, sous le commandement d'un solénoïde traversé par le courant, arrête la roue, la laisse tourner pendant que les charbons se rapprochent, ou enfin la pousse en sens contraire de façon à produire le recul. Dans les bobines, légèrement courbes, du solé-

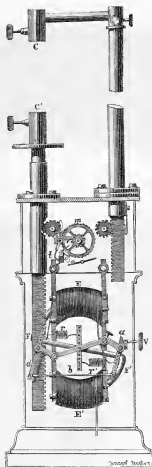


FIG. 60. — Régulateur Carré.

noïde *E E'*, s'engagent en effet les extrémités d'un noyau de fer doux *FF'*, courbé en forme d'S et relié par la tige *t* au cliquet. Quand le courant est lancé dans l'appareil, les deux bobines attirent les extrémités du noyau qui tourne autour de son milieu, la tige *t* se soulève et, poussant le rochet, fait écarter les charbons. Le mouvement est franc, et limité par les ressorts antagonistes *r, r'*. Ces deux ressorts, tirant sur une tige verticale fixée perpendiculairement à la partie rec-

tiligne du noyau, s'attachent, d'autre part, aux deux extrémités d'un double levier *aba'* à l'aide duquel on peut régler leur tension au moyen de la vis extérieure V. Si le courant faiblit, les ressorts agissent, le cliquet s'éloigne, les rouages défilent sous l'action du poids du porte-charbon supérieur, et les charbons C, C' se rapprochent. La lampe Carré, qui avait figuré honorablement à l'Exposition universelle de 1878, n'était représentée en 1881 que par deux exemplaires; elle ne se construit plus aujourd'hui.

26. Régulateur Serrin et dérivés : Suisse, Maxim, Bürgin. — Le premier régulateur à foyer unique qui soit entré dans la pratique est celui de M. Serrin. Installé aux phares de la Hève dès le mois de décembre 1863, cet excellent appareil n'a pas cessé d'y fonctionner avec succès. Il est caractérisé par un parallélogramme oscillant, bien des fois employé depuis. L'écart des charbons est produit par un électro-aimant agissant sur un tube qui contient le porte-charbon inférieur. Le rapprochement s'opère comme dans l'appareil de M. Jaspas. Le porte-charbon supérieur, mobile dans l'enveloppe B. se termine en haut par les deux leviers J et K, que l'on peut manier à l'aide des boutons B et G, de façon à placer le charbon *g* exactement au-dessus du charbon *h*. En bas, il est muni d'une crémaillère engrenant avec une roue dentée, dont l'axe porte une poulie sur laquelle s'enroule une chaîne de Galle attachée au porte-charbon inférieur. Les deux charbons tendent donc sans cesse à se rapprocher et, quand aucun courant ne circule, ils arrivent, en effet, au contact. Mais la roue dentée sur laquelle agit le porte-charbon supérieur, actionne un système de rouages (1) se terminant à un moulinet que peut arrêter une touche A, de façon à enrayer la marche des deux charbons l'un vers l'autre. Le porte-charbon inférieur, mobile dans le tube C, peut être mis en mouvement de deux manières différentes : tiré par la chaîne de Galle, il s'élève en même temps que le charbon supérieur s'abaisse, le tube C restant fixe; tandis qu'il descend avec ce tube quand l'électro-aimant E, attirant le fer doux F, abaisse le côté NQ du parallélogramme articulé MNPQ, le porte-charbon supérieur étant alors retenu par l'action de la touche A.

Au moment donc où on lancera le courant dans l'appareil (2), le charbon inférieur descendra et l'arc jaillira automatiquement. Mais bientôt, l'écart des charbons augmentant, l'intensité du courant diminuera et avec elle la force attractive de l'électro-aimant; les ressorts antagonistes R, réglés au moyen de la vis V, relèveront le parallélogramme oscillant, et aussitôt, le moulinet d'encliquetage se trouvant dégagé, les rouages tourneront et les charbons se rapprocheront de 1 ou 2 centièmes de millimètre : le courant ayant alors repris l'intensité voulue, la touche d'arrêt suspendra la marche du moulinet, le charbon

(1) La première roue de ce système est folle, mais rattachée par un cliquet à une roue à rochet : grâce à cette disposition on peut, sans faire tourner le rouage, relever le porte-charbon supérieur à la main, de façon à mettre l'appareil en état de servir.

(2) La borne isolée que l'on voit au bas de l'appareil correspond au pôle négatif; la borne positive non isolée (invisible sur la figure) est en face, de l'autre côté. De cette borne le courant gagne le porte-charbon supérieur, redescend par le tube C, puis, par une lame ondulée, assez flexible pour suivre le mouvement du système oscillant, parvient à l'électro-aimant pour sortir enfin par la borne négative.

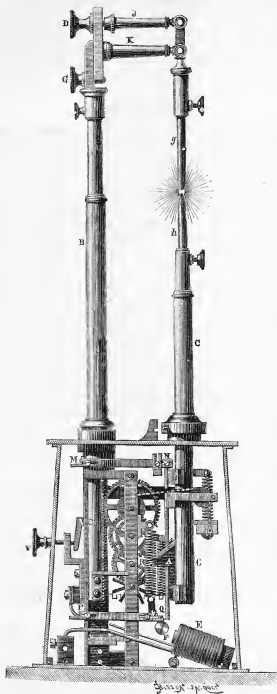


FIG. 61. — Régulateur Serrin.

supérieur sera de nouveau immobilisé, le charbon inférieur sera arrêté ; et ainsi de suite.

C'est un régulateur Serrin, alimenté par une machine de Méritens, qui illuminait si brillamment le phare central de l'Exposition ; c'est le même appareil, modifié seulement quant au moteur, que l'on voyait osciller près de la porte d'entrée et brûler également bien dans toutes les positions qu'aurait pu lui donner le roulis d'un navire.

Pendant la dernière période de l'Exposition d'électricité, une Commission d'expériences, composée de MM. Allard, Le Blanc, Joubert, Potier et Tresca, a étudié un certain nombre de systèmes d'éclairage dans les conditions mêmes d'installation réglées par les exposants (1).

Parmi ces systèmes figurait une lampe Serrin, pour phares, alimentée par une machine de Méritens, dont les bobines étaient groupées de telle manière que la résistance de la machine se trouvait extrêmement faible, $0^{\text{ohm}},036$. La machine marchant à 870 tours et dépensant 11,70 chevaux, la lampe, avec des charbons de 23 millimètres de diamètre, donna horizontalement 1034 carcels et moyennement 931 carcels, ce qui représente un rendement de 79,6 carcels par cheval mécanique.

Une autre expérience fut faite avec la même lampe, alimentée par une machine Jurgensen ; mais une résistance (0,82) presque double de celle de la machine (0,45) ayant dû être introduite dans le circuit, l'intensité lumineuse était amoindrie dans une forte proportion. Le rendement fut alors de 31,7 carcels par cheval mécanique, de 32,8 carcels par cheval électrique, et de 98,7 par cheval d'arc (2), ou encore de 7,64 carcels par ampère.

Régulateur Suisse. — Le régulateur Serrin a été heureusement simplifié par M. Suisse pour tous les cas où la fixité du point lumineux n'est pas nécessaire : la transmission du mouvement du charbon supérieur au charbon inférieur est supprimée ; le charbon supérieur, très long, se meut seul, le charbon inférieur reste immobile ou du moins il n'éprouve que les faibles déplacements du système oscillant.

Régulateur Maxim. — L'appareil de M. Hiram Maxim ressemble beaucoup au régulateur Serrin ; la différence principale consiste dans l'adaptation de deux armatures à l'électro-aimant : l'une a pour fonction de produire l'écart, l'autre sert à embrayer et à débrayer la roue d'échappement. C'est un régulateur Maxim qui, du haut de la porte du Palais de l'Industrie, éclairait chaque soir pendant l'Exposition la place de la Concorde et l'avenue des Champs-Élysées. Aux États-Unis, cette lampe fonctionne sur plusieurs bateaux de rivière.

Une lampe Maxim, pourvue de crayons de 12 millimètres de diamètre et servie par une machine Maxim fournissant, à la vitesse de 1017 tours, un courant de

(1) Allard, Joubert, Le Blanc, Potier et Tresca, *Comptes rendus*, XCIV et XCV, 1882.

(2) Les auteurs appellent *cheval électrique*, *cheval d'arc*, un travail électrique, ou total ou dans l'arc, de 75 kilogrammètres par seconde.

33 ampères, a donné à la Commission d'expériences comme intensité lumineuse horizontale 246, maximum 465, moyenne 239 carcels, et par cheval mécanique 58,7, par cheval électrique 64,2, par cheval d'arc 103,5, par ampère 7,24 carcels. La chute de potentiel à la lampe était de 53 volts. Une résistance de 0,250 ohm était interposée dans le circuit.

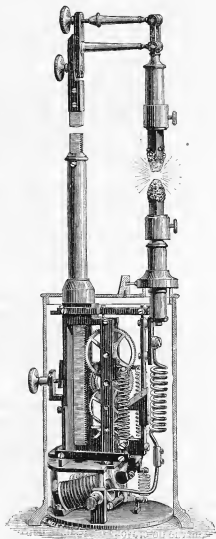


FIG. 62. — Régulateur Suisse.

Lampe Bûrgin. — En Suisse, on emploie couramment un régulateur très simple et très bon dû à M. Bûrgin, et dans lequel nous retrouvons encore : 1^{er} le

poids du charbon supérieur servant de moteur et transmettant par un système de cordons et de poulies le mouvement au charbon inférieur; 2° un électro-aimant agissant sur l'un des côtés verticaux du parallélogramme articulé. Ce qui caractérise l'appareil, c'est l'usage d'un frein destiné à modérer le mouvement de rapprochement des charbons. Ce frein, placé en K et soumis à l'action

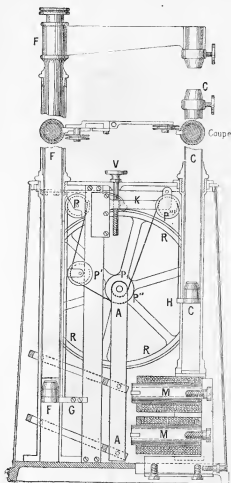


FIG. 63. — Régulateur Bürgin pour projections.

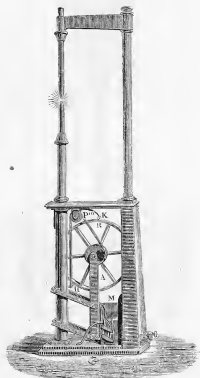


FIG. 64. — Régulateur Bürgin pour l'éclairage.

de la vis de réglage V, presse contre la grande roue R quand l'électro-aimant MM soulève l'armature A et par suite la roue R. Or cette roue est montée sur le même axe que les deux poulies P'' et P₁ : à la première aboutit le cordon partant de la base G du porte-charbon supérieur FF et passant sur les poulies de renvoi P et P', tandis que sur la deuxième P₁ s'enroule le cordon attaché

d'autre part en H au bas du porte-charbon inférieur CC et renvoyé par la poulie P'''. Au repos, les charbons sont nécessairement en contact; quand on lance le courant, l'armature se soulève brusquement, laissant assez de cordon libre en CC pour assurer l'écart initial et par suite le jaillissement de l'arc. Le jeu de l'appareil est ensuite évident.

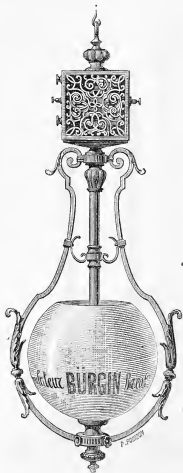


FIG. 65. — Régulateur Bûrgin à mécanisme supérieur, avec globe opale.

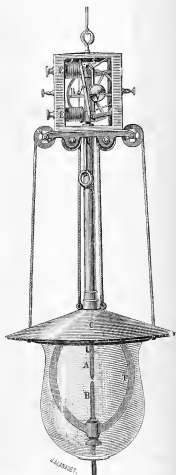


FIG. 66. — Régulateur Bûrgin à mécanisme supérieur, avec régulateur.

Comme la précédente, cette lampe peut être simplifiée quand on la destine uniquement à l'éclairage : les poulies P, P', P'' sont alors supprimées ; P₁ est remplacée par un barillet tirant sur le cordon attaché en H à la base du charbon inférieur, qui reste seul mobile.

L'appareil se dispose aussi avantageusement le mécanisme en haut, ainsi

qu'on le voit sur les deux modèles figurés ci-contre : le premier est muni d'un globe opale propre à diffuser la lumière dans toutes les directions ; l'autre est surmonté d'un réflecteur destiné à rabattre principalement la lumière vers le sol : ce réflecteur est rattaché au globe transparent placé au-dessous par un système de cordons analogue à celui des suspensions ordinaires et permettant d'ouvrir aisément l'appareil pour le renouvellement des charbons.

27. Lampe Cance. — Dans la lampe Cance le poids moteur est un écrou *h* situé en haut du porte-charbon supérieur. A travers cet écrou, guidé par les tiges *i* de façon à ne pouvoir se déplacer que dans le sens vertical, passe une vis *j*, assujettie à tourner sur elle-même sans avancer. Sur l'arbre de la vis est calée une roue dentée *e'*, engrenant avec un pignon *f'*, dont l'axe *g'*, surmonté de la roue d'échappement *e*, est porté lui-même par un cadre *d'* mobile autour du prolongement *p* de la vis. Un doigt *e'* fixé à ce cadre est saisi par l'extrémité *b'* d'un levier *b'a'*, qu'une bielle *z* relie au noyau (fer doux *n* et cuivre *o*) d'un solénoïde *m* (1). En l'absence du courant, le noyau est à fond de course, le cadre *d'* occupe la position indiquée par la figure ; la roue d'échappement, éloignée du ressort d'arrêt *h'*, peut tourner librement : le porte-charbon supérieur *dddd* descend donc, hissant par les cordes *f* le porte-charbon inférieur *cccc* ; les deux charbons arrivent au contact. Vient-on à lancer le courant, le

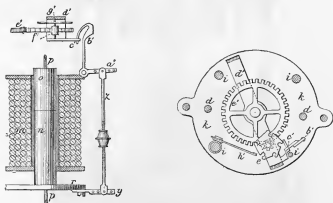


FIG. 67 et 68. — Lampe Cance : détail de l'échappement (élévation et plan).

noyau est brusquement soulevé, et avec lui la bielle *z* ; le levier *a'b'* bascule, poussant le cadre et la roue d'échappement contre le ressort d'arrêt *h'* : celui-ci pénètre dans un cran de la roue *e*, qu'il arrête, tout en laissant le cadre poursuivre son mouvement ; mais alors le pignon *f'*, toujours engagé dans la denture de la roue *e'*, force celle-ci à tourner d'un certain angle en sens in-

(1) Ce noyau est creux et traversé par le prolongement *p* de la vis ; en haut et en bas il porte des traverses *q* et *r* guidées par les tiges *i* ; la vis de butée *s* règle la position initiale du noyau.

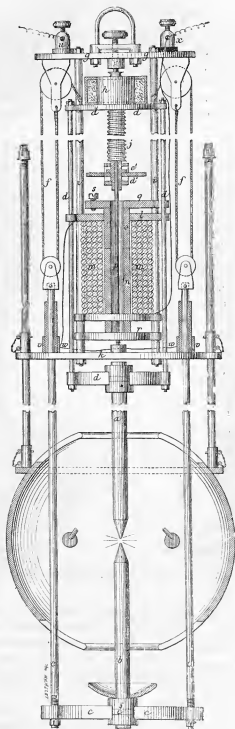


FIG. 69. — Lampe Cance : ensemble.

verse de sa marche normale : la vis suit ce mouvement, et l'écrou s'élève d'une certaine hauteur, entraînant le porte-charbon supérieur qui monte, tandis que le porte-charbon inférieur descend de la longueur correspondante. Dès lors l'écart existe et l'arc jaillit. Les charbons s'usent, l'intensité du courant diminue, le cadre s'éloigne, la roue d'échappement se dégage, les charbons se rapprochent; et la régulation continue, facilitée par la forme particulière de la roue d'échappement, dont les bossages servent de frein pour les petites fluctuations, ainsi que dans le régulateur Bürgin. La lampe Cance, qui a paru pour la première fois à l'Exposition d'électricité en 1881, éclaire aujourd'hui les nouvelles salles du bureau des télégraphes à Paris.

28. Autres régulateurs à mécanisme : Wallace Farmer, Dubos, Heinrich, Puviland. — Parmi les régulateurs à mécanisme, il faudrait encore citer plusieurs appareils importants (Siemens, Crompton, Gülcher, etc.), que l'on emploie plutôt à l'état de lampes à division et que nous étudierons comme telles, mais qui conviennent également bien isolés. Nous indiquerons seulement ici les essais que l'on a faits avec des charbons d'une forme spéciale.

Lampe Wallace Farmer. — Deux plaques de charbon superposées et s'é-

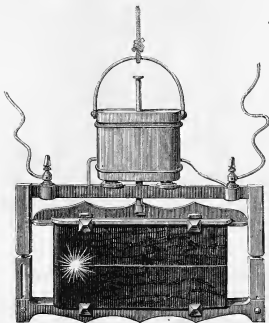


FIG. 70. — Lampe Wallace Farmer

cartant sous l'action d'un électro-aimant qui sollicite la plaque supérieure constituent toute la lampe Wallace Farmer. L'arc jaillit entre les deux plaques au point où la résistance est la plus faible et parcourt progressivement toute

l'arête, se maintenant ainsi très longtemps ; mais la lumière est peu intense et manque de fixité.

Lampes à charbons circulaires. — En donnant aux charbons une courbure

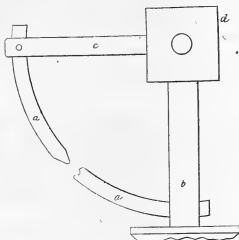


FIG. 71. — Schéma d'une lampe à charbons courbes imaginée par M. Werdermann.

circulaire, et en les attachant à des porte-charbons mobiles autour d'un axe

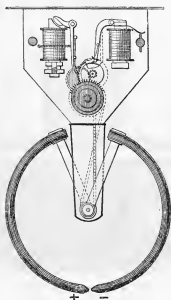


FIG. 72. — Lampe Heinrich à charbons courbes.

correspondant à leur centre de courbure, on a construit des lampes assez simples, dont la première idée paraît appartenir à M. Werdermann (1876). MM. Dubos,

Heinrich, Puviland, ont appliqué à ces appareils les modes de régulation habituels et ont obtenu des résultats satisfaisants. Toutefois la difficulté de fabriquer ces charbons courbes en a arrêté jusqu'ici la vulgarisation.

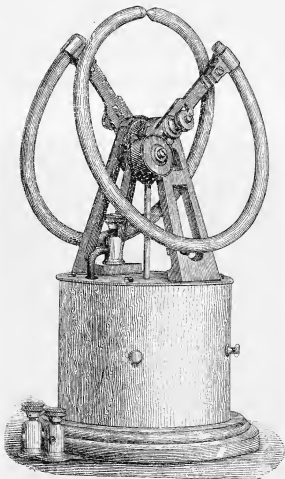


FIG. 73. — Lampe Puviland à charbons courbes.

29. Lampes à réaction électrodynamique : van Malderen, Fernet. — J. van Malderen avait essayé de régler l'arc par la seule répulsion des éléments contigus d'un même courant. Aux deux branches très mobiles d'une sorte de compas vertical il fixait horizontalement les deux baguettes de charbon, qui, en l'absence de courant, venaient se toucher par leurs pointes et qui, une fois le courant établi, se séparaient en se repoussant : un équilibre s'établissait alors entre cette répulsion et l'action de la pesanteur sur le système. M. Fernet a également imaginé un régulateur fondé sur le même principe (1). L'un des

(1) Fernet, *Comptes rendus*, LXVI, 600, 1868

charbons est placé à l'extrémité d'une tige métallique, suspendue comme le levier mobile de la balance de Coulomb, et disposée de manière à recevoir le courant : on installe l'autre charbon en regard, dans une direction tangentielle à l'arc de cercle que décrit l'extrémité de la tige quand elle vient à tourner autour de son point de suspension. On lance le courant, la tige mobile est repoussée, et un équilibre s'établit entre l'action électrodynamique et la force de torsion du fil qui supporte la tige. Mais il est difficile d'obtenir ainsi une fixité suffisante.

30. Lampe Rapieff et dérivées : Gérard, Killingworth Hedges. —

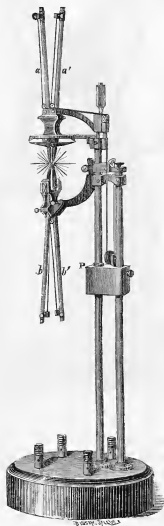


FIG. 74. — Lampe Rapieff.

En 1876, M. Rapieff trouva un procédé très ingénieux [pour maintenir, sans

aucun mécanisme, les extrémités des deux électrodes à une distance invariable. A cet effet, il constitua chaque électrode par deux longues baguettes de charbon inclinées (1) l'une sur l'autre en forme de V, et poussées constamment de manière à se rencontrer toujours à l'intersection des deux branches du V : cette intersection étant fixe dans l'espace, l'extrémité de chaque électrode restera toujours au même point malgré la combustion des deux électrodes superposées qui forment un X, mais dont la moitié inférieure *bb'* est dans un plan perpendiculaire à celui de la moitié supérieure *aa'*. Un système de cordons et de contrepoids *P* fait avancer les charbons au fur et à mesure de la combustion. Un électro-aimant, situé dans le pied de l'appareil, produit l'écart initial.

Brûleur Gérard. — M. Gérard a légèrement modifié la lampe Rapiéff en

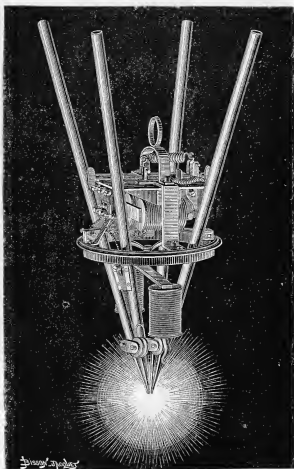


FIG. 75. — Brûleur Gérard.

(1) Staite en 1846 et Reynier en 1875 avaient déjà tenté d'employer des charbons obliques.

plaçant les deux V l'un à côté de l'autre, de façon que les quatre charbons constituent les quatre arêtes d'une pyramide quadrangulaire, dont le sommet est en bas : les charbons descendent alors simplement par leur propre poids. C, C' sont les charbons glissant dans les tubes A, A' ; E est l'électro-aimant (1)

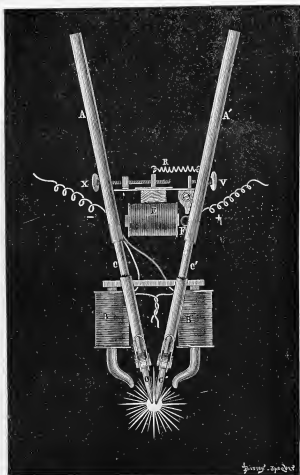


FIG. 76. — Disposition du brûleur Gérard.

régularisant avec le ressort R l'écart des deux électrodes ; X et V sont des vis de réglage. En BB' est un deuxième électro-aimant servant à maintenir l'arc aux points des charbons (15).

Lampe Killingworth Hedges. — En 1881, M. Killingworth Hedges exposa dans la section anglaise une lampe analogue, sauf que l'électrode négative était

(1) Cet électro-aimant à fil fin est placé en dérivation, ce qui permet, comme on le verra plus loin, de disposer plusieurs brûleurs en série sur le même circuit

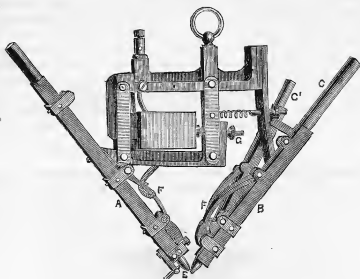


FIG. 77. — Lampe Killingworth Hedges.

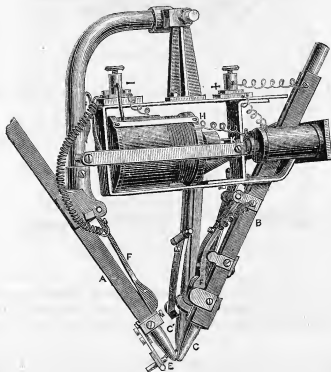


FIG. 78. — Lampe Killingworth Hedges disposée pour être montée en série.

formée d'un seul charbon retenu dans la gouttière A par un petit arrêt en platine E. Au pôle positif, cette disposition ne serait pas possible à cause de la chaleur développée à ce pôle (16) : on y a donc conservé deux charbons en V. F, F sont des contacts métalliques amenant le courant près des pointes de ces charbons ; G est la vis de réglage de l'électro-aimant qui produit l'écart des électrodes, et par suite détermine la longueur de l'arc. La figure 78 représente le même appareil muni d'un électro-aimant à fil fin, mis en dérivation et agissant en sens contraire du solénoïde H, de façon que plusieurs lampes puissent être placées à la suite l'une de l'autre sur un seul fil, ainsi qu'on l'expliquera plus loin.

31. Lampe Solignac. — Une lampe très ingénieuse a été récemment imaginée par M. Solignac (1). A chacun des deux charbons F est fixée une mince baguette

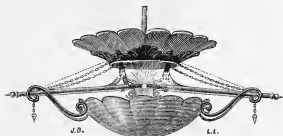


FIG. 79. — Lampe Solignac.

de verre G, butée contre l'extrémité L d'une pièce en nickel soutenant

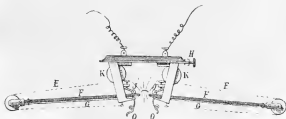


FIG. 80. — Disposition de la lampe Solignac.

le charbon. Un barillet K, tirant sur une chaîne E, pousse le charbon en avant ; la tige de verre, ramollie au contact du butoir échauffé par l'arc, se courbe graduellement et laisse avancer progressivement les charbons. Le butoir,

(1) Sur ce modèle l'écart initial se produit à la main au moyen de la vis H ; mais on comprend aisément que l'allumage pourrait s'opérer automatiquement à l'aide de l'un des dispositifs précédemment indiqués.

s'échauffant d'autant plus que l'arc s'allonge davantage, la régulation s'effectue très simplement et sans saccade. Des lampes Solignac, alimentées par une machine

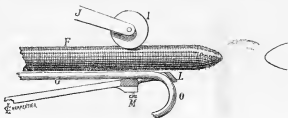


FIG. 81. — Charbons de la lampe Solignac.

de Méritens, éclairaient, à Pâques 1882, la salle des séances de la Société de physique et y fonctionnaient parfaitement.

2° Lampes à division de lumière.

32. Insuffisance des régulateurs précédents pour un éclairage divisé. — En dehors de ces lampes sans mécanisme, tous les régulateurs précédemment décrits, quelque bons qu'ils soient d'ailleurs, ont un inconvénient commun : on ne peut en placer qu'un seul par circuit. Dans ces appareils, en effet, le réglage de l'écartement des charbons étant déterminé par les variations d'intensité du courant, un accident quelconque arrivé à l'une des lampes, en modifiant cette intensité, agit nécessairement sur les autres lampes intercalées dans le circuit ; chacune de celles-ci réagit à son tour sur toutes les autres, et la marche cesse d'être régulière. Pour obvier à cet inconvénient, il faut disposer les choses de façon qu'un régulateur actuellement en équilibre ne soit pas influencé par les variations des autres foyers. On y parvient de différentes manières.

A. — Lampes différentielles.

33. Régulateur Lacassagne et Thiers. — Le principe des lampes différentielles avait déjà été appliqué, il y a vingt-cinq ans, par Lacassagne et Thiers, de Lyon. Des expériences faites au Jardin d'hiver et à l'Alcazar, au mois de mars 1856, en présence de la Faculté des sciences de Lyon et d'un nombreux public d'invités, avaient montré pour la première fois la division de la lumière électrique. Mais à cette époque on n'avait pratiquement pas d'autre source d'électricité que les piles : il était donc à peu près indifférent de pouvoir placer plusieurs régulateurs sur un même circuit ou d'être forcé d'alimenter chaque régulateur par une pile spéciale. La question de la divisibilité de la lumière électrique ne présentait pas l'intérêt qu'elle a pris dans ces dernières années. La lampe à mercure de MM. Lacassagne et Thiers ne frappa

aucun industriel, et les pauvres inventeurs ne trouvèrent dans leur invention, remarquable cependant sous d'autres rapports, que la misère et l'oubli.

Nous nous faisons un devoir de rappeler ici en quoi consistait leur appareil.

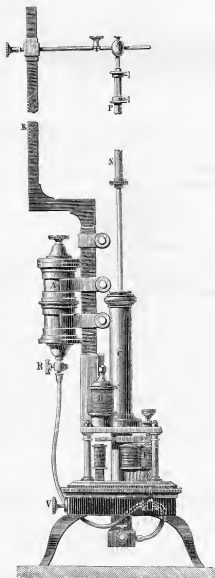


FIG. 82. — Régulateur Lacassagne et Thiers.

Le mercure, contenu dans un réservoir en fer A, était amené par un tube de caoutchouc à la base d'un corps de pompe C également en fer, et poussait un piston auquel était attaché le charbon inférieur N. L'arrivée du mercure sous le

piston se réglait par l'action d'une palette comprimant plus ou moins le tube de caoutchouc. La pression de cette palette était elle-même déterminée par la différence des actions de deux électro-aimants agissant en sens contraire: l'un E, placé sur le circuit principal, l'autre D, établi sur une dérivation qui, pour ne laisser passer qu'une faible partie du courant, contenait une bobine de grande résistance B, constituée par un fil de fer très fin enroulé sur un cylindre en verre. Le réservoir A ayant été préalablement rempli de mercure, on ajustait à la main le porte-charbon supérieur (muni en K d'un réflecteur) de façon à faire jaillir l'arc voltaïque, on réglait avec la vis V la position de l'électro-aimant de dérivation D, et l'on n'avait plus alors qu'à ouvrir le robinet R pour assurer un rapprochement régulier des charbons.

34 Principe des lampes différentielles. — Considérons un régulateur du type Archereau, dans lequel la marche des charbons est gouvernée par les mouvements d'un noyau de fer doux s placé dans l'axe d'un solénoïde R que

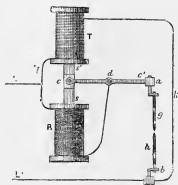


FIG. 83. — Principe de la lampe différentielle de Siemens.

traverse directement le courant; imaginons un second solénoïde T à fil très résistant, installé en dérivation sur l'arc et, pour préciser les idées, supposons que ce deuxième solénoïde soit situé au-dessus du premier et pénétré intérieurement par le même noyau de fer doux ss' , prolongé à cet effet. Deux voies sont alors offertes au courant: l'une $LRdaghbL'$, qui comprend l'arc et le solénoïde inférieur à gros fil l'autre; $L'TkL'$, qui est constituée par le solénoïde supérieur à fil fin. Le courant se partage entre ces deux voies en raison inverse de leurs résistances respectives; et, d'après une loi connue, le partage a toujours lieu dans le même rapport, quelle que soit l'intensité du courant, pourvu que les résistances des deux branches ne changent pas. Si donc le régulateur est actuellement en équilibre, si, par conséquent, l'arc qui est la seule partie du circuit sujette à des variations offre présentement une résistance constante, le courant pourra sans inconvénient varier d'intensité: l'arc restera fixe. En d'autres termes, les accidents survenus aux autres lampes du circuit n'affecteront en rien le régulateur considéré. Quant à la réuglation à l'intérieur de l'appareil,

on l'obtiendra aisément en utilisant les mouvements du noyau produits par les changements de résistance de l'arc. Si en effet l'arc s'allonge, sa résistance augmente; une fraction plus grande du courant se dérive dans la bobine à fil fin; l'attraction de cette bobine sur le noyau devient plus grande que celle de la bobine inférieure, et le noyau monte sous l'action de la *différence* de ces deux attractions. Si, au contraire, la résistance de l'arc vient à s'affaiblir, la bobine inférieure l'emporte, et le noyau s'abaisse.

Tel est, dans ses traits essentiels, le régulateur différentiel de M. Siemens. Bien que cet appareil date seulement de 1879, on comptait à l'Exposition au moins une vingtaine de lampes construites d'après le même principe.

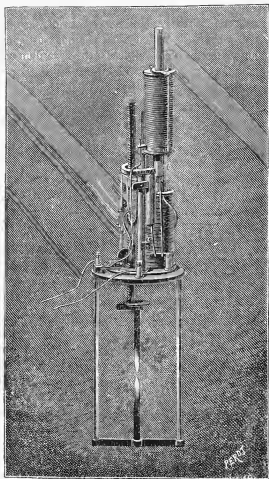


FIG. 84. — Lampe Siemens.

35. **Lampe Siemens.** — Pour achever de donner une idée à peu près complète de la lampe différentielle de M. Siemens, nous ajouterons que le

mouvement des charbons est régularisé par un petit pendule ne permettant que des déplacements assez lents. Cette disposition, que l'on trouvait déjà dans la lampe *pendulum* du même inventeur, remplace à l'égard du mécanisme d'horlogerie tendant sans cesse à rapprocher les charbons, le frein que nous avons rencontré dans d'autres appareils. De même, le mouvement du noyau est rendu gras par une petite pompe à air, qui joue ici le rôle de la cataracte à mercure de M. Jaspar. Enfin le système entier est situé au-dessus du foyer, et par conséquent toute la lumière envoyée vers le bas est utilisable.

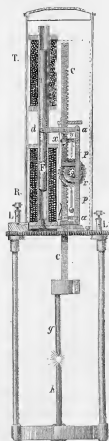


FIG. 85. — Mécanisme de la lampe Siemens.

La figure 85 représente une coupe de la lampe. L, L' sont les bornes d'entrée et de sortie du courant: de L le courant traverse le solénoïde à gros fil R, le charbon supérieur, l'arc, le charbon inférieur et gagne la borne L', liée au porte-charbon inférieur: le trait ponctué marque la dérivation sur laquelle est placé le solénoïde à fil fin T. A l'intérieur des solénoïdes peut se mouvoir le barreau FF, attaché en son milieu à l'extrémité d'un levier *da* mobile autour d'un axe fixe *b*: ce levier fait partie d'un parallélogramme articulé *baab*, dont le

côté *aa* peut ainsi s'élever ou s'abaisser, entraînant lorsqu'il monte le porte-charbon supérieur, et dégageant lorsqu'il s'abaisse le mécanisme que ce charbon tend sans cesse à entraîner en vertu de son propre poids. La tige *cc* du porte-charbon supérieur est en effet taillée en crémaillère, et une roue à rochet *r* entraînée par la crémaillère tournerait sans cesse en sens contraire des aiguilles d'une montre, si elle n'était arrêtée par un cliquet adapté à un pendule *pp*, dont l'extrémité supérieure est normalement engagée dans l'entaille *y* d'un petit levier *xy*: la roue *r* est alors immobilisée, et la crémaillère, ainsi fixée à la pièce *aa*, suit tous ses mouvements verticaux. Mais lorsque, les charbons s'usant, la résistance de l'arc augmente assez pour que, par l'action de la bobine supérieure, la pièce *aa* descende au-dessous d'une certaine quantité, l'extrémité gauche du petit levier *xy* vient toucher un taquet *v*, qui le force à se lever: le pendule *pp* est dégagé, et la crémaillère peut descendre librement. Quand elle est suffisamment descendue, le courant abandonne la bobine T, le barreau FF est rappelé vers le bas par la bobine R, le cran *y* saisit de nouveau l'extrémité *m* du pendule, et la crémaillère est encore rendue solidaire de la pièce *aa* ramenée vers le haut. Dans l'appareil figuré ci-contre, le porte-charbon inférieur est fixe, ce qui ne présente aucun inconvénient pour l'éclairage ordinaire. Si l'on voulait un point lumineux invariable, on l'obtiendrait sans difficulté en rendant le porte-charbon inférieur mobile et en le reliant au porte-charbon supérieur, comme dans le régulateur Serrin.

Si l'un des charbons vient à casser ou si, les deux charbons étant usés, l'arc s'éteint, le courant, passant tout entier dans la bobine supérieure, attire violemment en haut le barreau FF, ce qui fait intervenir un *contact de sûreté* en platine, placé à la partie inférieure de la pièce *aa* et mettant directement en communication les deux bornes L, L': la lampe se trouve alors supprimée du circuit général jusqu'à ce que, la crémaillère s'étant suffisamment abaissée, les charbons se touchent de nouveau et la lampe se rallume d'elle-même, ou que l'on remplace les charbons.

Enfin, pour permettre de régler l'arc à la longueur voulue, la bobine supérieure peut monter ou descendre le long du tube de cuivre qui la supporte, de façon à ce que le barreau de fer doux s'y trouve plus ou moins engagé, de façon par conséquent à ce que l'action du solénoïde se fasse plus ou moins sentir.

MM. Siemens avaient disposé à l'Exposition d'électricité :

1° A l'entrée de la nef, un lustre à cinq lumières intercalées dans un même circuit et alimentées par une machine Siemens D.8 à courant continu, marchant à 826 tours par minute sous l'action d'un petit moteur de 5 chevaux: l'intensité du courant était 10 ampères, la force électromotrice moyenne 353 volts, la résistance de la machine 7,05 ohms ;

2° A l'entrée de l'exposition allemande, deux grandes lumières entretenues par une machine D.7 à courant continu, recevant d'un moteur semblable au précédent un travail effectif de 5,31 chevaux, à la vitesse de 1330 tours par minute; l'intensité du courant était 26,2, la force électromotrice moyenne 136, la résistance de la machine 1,68. Ces grands foyers étaient analogues à ceux que MM. Siemens venaient d'installer aux alentours de Mansion House, à

Londres, et qui, au nombre de six, dressés sur des poteaux de soutien hauts de 24 mètres, avaient permis d'éclairer avec une remarquable uniformité un vaste espace :

3° Dans la nef, douze lumières produites par une machine à courants alter-

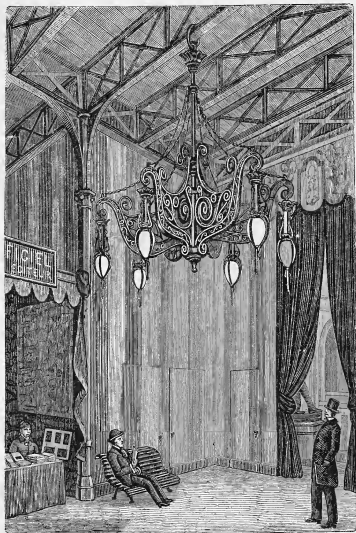


FIG. 86. — Lustre Siemens éclairant l'entrée de la nef à l'Exposition internationale d'électricité.

natifs W.2 faisant 620 tours par minute et dépensant 13,79 chevaux, excitée par la machine D.6 tournant à 1230 tours et dépensant 2,60 chevaux.

D'après les mesures de la Commission d'expériences, les deux grands foyers munis de crayons de 14 millimètres de diamètre avaient chacun une intensité

lumineuse horizontale de 142, maximum de 537, moyenne de 205 carcels, le nombre de carcels étant par cheval mécanique 77,2, par cheval électrique 84,2,

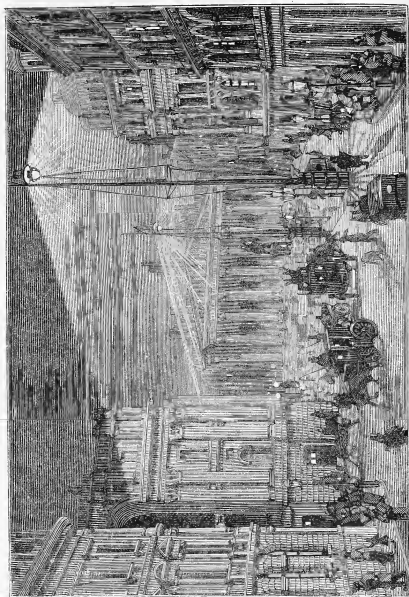


Fig. 87. — Grands overes Siemens à Mansion House

par cheval d'arc 129,3, par ampère 7,82; la chute de potentiel à la lampe était 14,5 volts. Pour chacune des cinq lampes garnies de crayons de 10 millimètres, l'intensité était horizontalement 67, maximum 72, moyennement 52 carcels, et

le nombre de carcels par cheval mécanique 51,5, par cheval électrique 54,6, par cheval d'arc 81,3, par ampère 5,20; la chute de potentiel à la lampe était 47,4 volts. Les douze lampes montées en trois circuits sur la machine W. 2 donnèrent, avec des crayons de 10 millimètres, horizontalement 44 et moyennement 39 carcels par lampe: le nombre de carcels fut par cheval mécanique 28,6, par cheval électrique 30,8, par cheval d'arc 44,4, par ampère 3,66; la chute de potentiel dans l'arc était 55,2 volts.

36. Lampe Pilsen. — Le régulateur de MM. Piette et Krizik, plus connu sous le nom de lampe Pilsen (il éclaire la fameuse brasserie de Pilsen), est en quelque sorte la lampe différentielle réduite à son schéma: le noyau de fer doux qui traverse les deux solénoïdes porte le charbon positif et le gouverne directement sans rouage ni mécanisme quelconque. Ce noyau A est taillé en fuseau, de

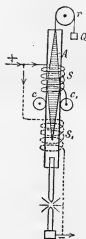


FIG. 88. — Lampe Pilsen : schéma.

manière à subir de chaque solénoïde une action constante sur une grande partie de sa longueur, tandis qu'un fer doux cylindrique est soumis à une attraction variable avec sa situation à l'intérieur de la bobine; aussi le réglage ne peut-il alors s'obtenir que pour de faibles déplacements du noyau. Le fuseau A est logé dans un tube de cuivre glissant entre des galets c , c_1 , équilibré par un contrepoids Q, et servant de porte-charbon supérieur. Le solénoïde s , placé sur le circuit principal, tend à écarter les charbons; le solénoïde s_1 , mis en dérivation, tend à les rapprocher. Un contact de sûreté automatique (non figuré ici) renvoie le courant dans un circuit latéral en cas d'extinction. Les appareils Pilsen étaient installés à l'Exposition dans l'escalier d'honneur, au vestibule du premier étage et dans la salle 20. Chaque circuit, comprenant six lampes, était

alimenté par le courant d'une machine Schuckert (machine Gramme à anneau plat induit par ses faces latérales).

37. Lampe Brush. — La lampe Brush offre encore une réalisation simple et ingénieuse du principe différentiel.

La figure 89 représente les parties essentielles de la lampe. Sur les bobines HH' d'un électro-aimant unique s'enroulent le solénoïde à gros fil, au travers duquel le courant se rend directement à l'arc, et, en sens contraire, le solénoïde à fil très fin (non marqué sur la figure) en dérivation sur le circuit principal. Si

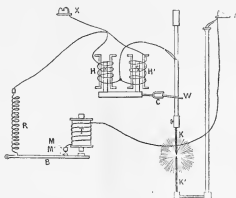


FIG. 89. — Lampe Brush: schéma.

aucun courant ne passe, les deux charbons K et K' sont en contact, et le circuit direct XHH'KK'Y est complètement fermé. Vient-on à y lancer un courant, les noyaux N, S sont attirés, la pince C relève l'un des bords de l'anneau W, le fait mordre sur la tige T du porte-charbon supérieur et soulève ainsi ce charbon. L'arc se forme et, lorsqu'il a atteint la longueur convenable, la résistance du circuit principal ayant suffisamment augmenté, le solénoïde dérivé reçoit un courant assez intense pour équilibrer l'effet du premier solénoïde (1). A partir de ce moment, il ne se produit plus que des variations dans l'obliquité de l'anneau, qui, serrant plus ou moins la tige T, la laisse glisser plus ou moins rapidement, selon la manière dont le charbon se consume. Si toutefois le charbon glissait un peu trop, l'anneau, saisissant obliquement la tige T, la relèverait immédiatement, et l'écart convenable serait aussitôt rétabli. Ces mouvements sont adoucis par les déplacements, en sens inverse, d'une couche mince de glycérine frottant contre les parois intérieures du porte-charbon mobile, qui est creux, et faisant cataracte au-dessus du piston qui la déplace.

(1) La résistance du solénoïde dérivé étant au moins 100 fois celle du solénoïde direct, une faible fraction du courant principal traverse la dérivation, mais l'action de ce courant est multipliée par le grand nombre des spires du solénoïde à fil fin.

En MM' est le contact de sûreté commandé par l'électro-aimant T, sur lequel s'enroule le fil de dérivation. Si la lampe s'éteint, le contact se ferme et le courant, passant alors par XRBMMTY, laisse la lampe de côté. En T, le courant suit un gros fil enroulé sur la bobine dans le même sens que le fil dérivé, de sorte que le contact MM' est solidement fermé jusqu'à ce que la lampe se rallume d'elle-même, si l'accident provenait seulement d'un écart exagéré des

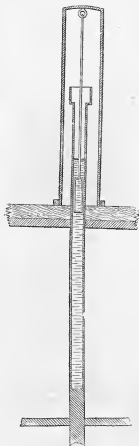


FIG. 90. — Lampe Brush : détail de la cataracte.

charbons. En cas contraire, la lampe reste purement et simplement supprimée : les autres lampes du circuit n'en sont pas autrement affectées, si ce n'est par un accroissement de leur intensité.

Chaque lampe brûle environ huit heures. Si on veut la faire durer plus longtemps, on y met deux paires de charbons, et par un mécanisme très simple, au moment voulu, la paire usée est remplacée automatiquement par la paire neuve. A cet effet, les deux porte-charbons supérieurs sont commandés par une même

pièce K (1), munie de deux mâchoires, par chacune desquelles elle peut saisir l'anneau W_1 , W_2 de l'un des charbons. Mais l'une des mâchoires est établie un peu plus haut que l'autre, de sorte qu'elle agit la première et soulève davantage son charbon R_2 ; l'arc s'établit seulement entre les charbons plus rapprochés de l'autre paire et s'y maintient jusqu'à ce que, ces charbons étant usés, les premiers charbons se rapprochent assez pour donner à leur tour naissance à l'arc.

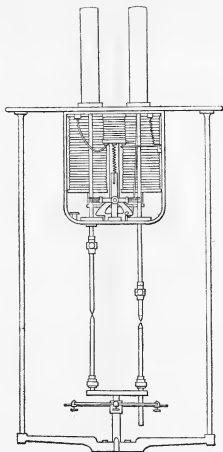


FIG. 91. — Lampe Brush à deux paires de charbons.

Le système Brush, très apprécié en Amérique, où il fonctionne depuis plusieurs années, était représenté à l'Exposition par 40 foyers éclairant l'extrémité est de la nef; ces 40 foyers étaient disposés en une seule série et alimentés par une machine unique (Brush n° 8), actionnée elle-même par une machine à vapeur de 36 chevaux. La machine génératrice, marchant à 700 tours,

(1) Dans la figure 93, CC est le solénoïde creux, ou « aimant suçant » qui agit sur le plongeur en fer doux P, lequel transmet cette action à la pièce K par l'intermédiaire du levier LL.

absorbait un travail moteur effectif de 29,96 chevaux; la résistance de la machine était 22,38 ohms, l'intensité du courant 9,5 ampères, la force électromotrice moyenne 2009 volts.

Dans chaque foyer, un arc long de 2 millimètres jaillissait entre des charbons de 11 millimètres de diamètre; l'intensité lumineuse était : horizontale 63, maximum 78, et moyenne 39 carcels. On avait ainsi par cheval méca-

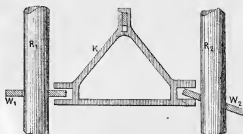


FIG. 92. — Double mâchoire d'une lampe Brush à deux paires de charbons.

nique 52,1, par cheval électrique 62,6, par cheval d'arc 71,7, par ampère 4,11 carcels. La résistance d'une lampe variait entre 4,6 et 5 ohms; la différence de potentiel entre les deux bornes était 44,3 volts.

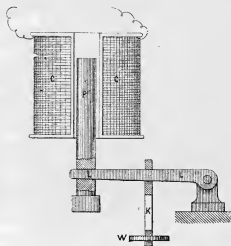


FIG. 93. — Mécanisme commandant les deux mâchoires d'une lampe Brush à deux paires de charbons.

Au cours d'une expérience faite à Paris pendant l'Exposition, on intercala dans le circuit 32 kilomètres du câble ordinairement employé par la Compagnie Brush (câble à 7 fils de 1^{mm},4 de diamètre), et l'on put faire fonctionner une trentaine de lampes pendant quinze heures. Le jour de la représentation de gala à l'Opéra, le grand escalier était éclairé par 38 lampes Brush, recevant par un câble de 6 kilomètres le courant de la machine génératrice installée au Palais de l'Industrie. Parmi les expériences faites pendant l'Exposition, nous citerons encore

la production d'un arc voltaïque énorme au-dessus de la porte de sortie de la nef ; les charbons cuivrés, de 5 centimètres de diamètre, se trouvaient à une

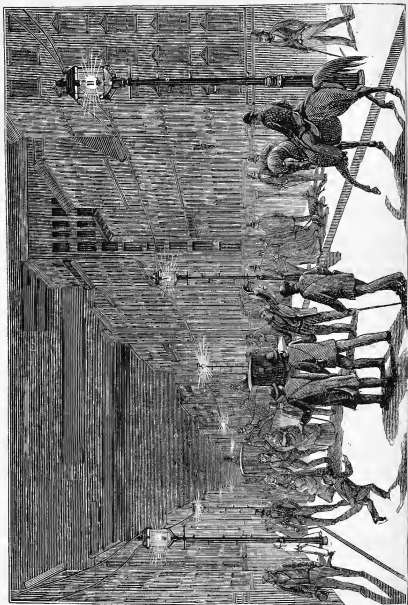


FIG. 94. — Lampes Bunsen éclairant une rue de New-York

distance de 32 millimètres. La source était une machine du type de celle à 40 lumières, mais à fil beaucoup plus gros, et disposée en quantité : elle dépensait 37 chevaux et fournissait un courant de 240 ampères ; la force électromotrice était d'environ 100 volts.

38. **Lampe Weston.** — En face d'un électro-aimant MM, dans lequel le gros fil placé sur le circuit de l'arc est compris entre deux couches de fil fin enroulé en sens contraire et mis en dérivation, est un contact en fer doux AA, guidé par un parallélogramme articulé de Serrin. Une griffe CC, fixée au contact, saisit le charbon supérieur à peu près comme dans le régulateur Brush. Une cataracte à

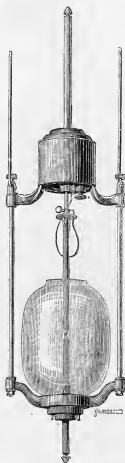


FIG. 95. — Lampe Weston.

glycérine G adoucit les mouvements ; le piston est formé de deux disques PP', percés de trois petites échancrures et, suivant la position relative que l'on attribue à ces échancrures, on augmente ou on diminue le frottement du liquide. Le charbon inférieur est immobile, le charbon supérieur glisse insensiblement, guidé par un mécanisme qui, sans offrir rien d'original, est très simple et donne un arc bien fixe.

À l'Exposition, on avait installé 10 lampes Weston sous la galerie sud et 4 sur la même galerie ; 4 autres y furent ensuite ajoutées dans la salle C. Ces 18 lampes

étaient alimentées par machines Weston dépensant un peu plus de 20 chevaux.

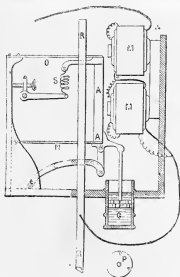


FIG. 96. — Mécanisme de la lampe Weston.

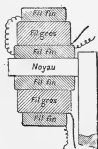


FIG. 97. — Electro-aimant de la lampe Weston.

Dans la machine Weston, l'électro-aimant à points conséquents des machines

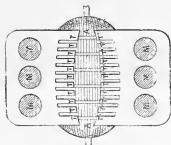


FIG. 98. — Pièces polaires de la machine Weston.

Gramme s'unit à une bobine du type Siemens avec collecteur à lames obliques. Les pièces polaires sont divisées en une série de languettes T, T, T, T', T', T' ; le

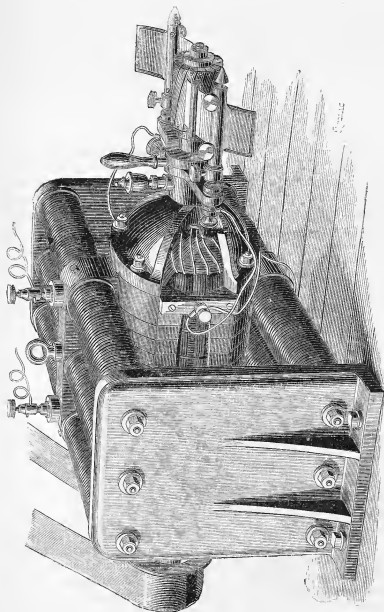


Fig. 99. — Machine Weston.

noyau est formé par une suite de roues en fer à seize dents, enfilées sur l'axe et

séparées par des intervalles égaux à leur épaisseur : cette disposition a pour objet d'obtenir une ventilation énergique.



FIG. 100. — Un des disques en forme de roue dentée du noyau de la bobine dans la machine Weston.

La Commission d'expériences a pris, sur une machine Weston alimentant dix lampes Weston, une série de mesures, « qui s'est fait remarquer entre toutes par son extrême régularité dans toutes les observations ». Nous la rapporterons en détail :

Vitesse de la machine génératrice.....	1003 tours par minute.
Travail moteur effectif.....	13,01 chevaux.
Résistance de la machine.....	1,88 ohms.
— du circuit sans les lampes...	1,50 —
Intensité du courant.....	23 ampères.
Force électromotrice moyenne.....	398 volts.
Chute de potentiel à la lampe.....	32 —
Travail électrique total.....	12,43 chevaux.
Travail des 10 lampes.....	10 —
Rendement mécanique total.....	0,95
— mécanique des arcs.....	0,77
— électrique des arcs.....	0,80
Diamètre des charbons.....	9 et 10 millimètres.
Intensité lumineuse horizontale.....	92 carcels.
— maximum.....	154 —
— moyenne.....	85 —
Carcels par cheval mécanique.....	65,3 —
— électrique.....	68,4 —
— d'arc.....	85,0 —
Carcels par ampère.....	3,70 —

39. **Lampes diverses; Egger, Tchikoleff, Schukert.** — Parmi les régulateurs différentiels, nous noterons encore :

La *lampe Egger*, dans laquelle un balancier, gouverné par le système différentiel, opère dans un sens l'écart initial et, dans l'autre, le rapprochement des charbons par son action sur un frein qui enraye un mouvement d'horlogerie. Cette lampe, un peu compliquée, en service depuis plusieurs mois dans une usine des environs de Vienne, n'a fonctionné que quelques jours à l'Exposition;

La *lampe Tchikoleff*, reproduite plus tard par M. *Schukert*, dans laquelle un anneau de Gramme est soumis à la différence des actions de deux électro-aimants et, en tournant dans un sens ou dans l'autre, rapproche ou éloigne les

deux charbons par le moyen d'une vis fixée à l'axe de l'anneau. La lampe Tchikoleff est employée depuis 1877 par l'artillerie russe.

Dans tous ces appareils, comme nous l'avons déjà indiqué pour quelques-uns, une disposition très simple sépare du circuit général la lampe qui, par suite d'un accident quelconque, viendrait à s'éteindre : cette sorte de soupape de sûreté, commandée par un électro-aimant en dérivation, est tantôt dans la lampe, tantôt en dehors. Le *déviateur* de Siemens est même une véritable petite lampe que l'on peut placer près de la machine et qui, en s'allumant, prévient le mécanicien de l'accident arrivé au foyer éloigné.

B. — Lampes à dérivation.

40. Principe de la dérivation. — On peut assurer d'une manière suffisante l'indépendance de chacune des lampes d'une même série simplement en mettant en *dérivation* la bobine qui gouverne le réglage d'un régulateur monophote quelconque. Alors en effet, quand, l'arc s'allongeant, l'intensité diminue dans le courant principal, elle s'accroît dans la bobine dont l'action détermine le rapprochement des charbons : les autres lampes de la série ne sont donc pas sensiblement affectées, une compensation presque complète s'établissant à l'intérieur de la lampe considérée.

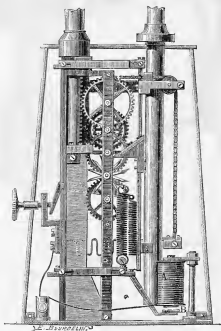


FIG. 101. — Régulateur Lontin.

41. Régulateur Tchikoleff; régulateur Lontin. — M. Tchikoleff modifia

le régulateur Foucault d'après ce principe. M. Lontin appliqua la même transformation au régulateur Serrin. Il est à remarquer que, dans un appareil ainsi modifié, la bobine en dérivation A agit à l'inverse de la manière dont elle se comportait dans l'appareil primitif, le courant qui la traverse étant d'autant plus intense que l'arc s'allonge davantage : cela d'ailleurs n'offre nul inconvénient.

42. Régulateur de Mersanne. — La bobine de dérivation B agit sur une armature munie d'un cliquet d'arrêt *r*, contre lequel viennent buter les dents d'une étoile *k* formant le dernier terme d'un système de rouages actionné par le barillet A. Si l'armature est attirée, les dents échappent, les rouages défilent et les charbons se rapprochent, entraînés par les galets *gg* qui reçoivent l'action du barillet au moyen des tiges *b*, *a*, et des roues d'angle reliant la tige *a* à l'axe du

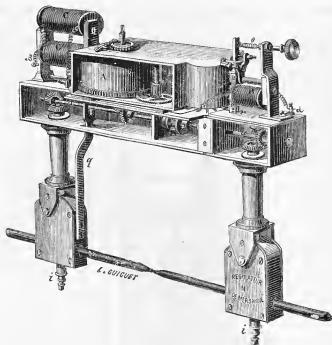


FIG. 102. — Régulateur de Mersanne.

barillet, puis la tige *b* à la tige *a*, et enfin l'axe *d* et la roue *e* à la tige *b*. La tige *a* est d'ailleurs composée de deux parties séparées par une matière non conductrice et rattachées par des manchons à la Cardan ; le côté droit de la boîte est également monté sur caoutchouc durci, de sorte que le porte-charbon qui s'y trouve est complètement isolé du reste de l'appareil et communique uniquement avec la borne *t*. En *h, h*, sont des galets de pression réglés à l'aide de la vis *i*, et assurant le contact du charbon avec les galets d'entraînement. Quand l'arc est revenu à sa longueur normale, l'électro-aimant B, traversé par un courant affaibli, abandonne son armature qu'un ressort *o* ramène en avant (jusqu'à la position déterminée par la vis de butée *p*), le cliquet arrête un des rayons de l'étoile *k*,

et le mouvement cesse, pour recommencer dès que l'arc s'allonge un peu trop. En CC est un électro-aimant chargé de l'allumage. Au début, les charbons sont

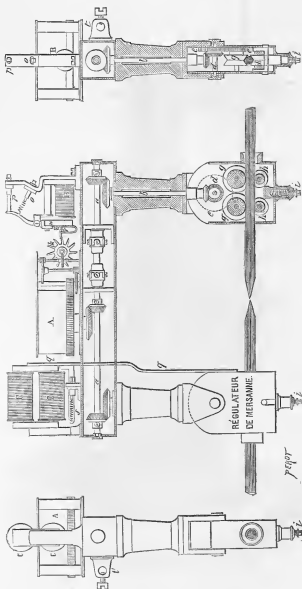


Fig. 103, 104 et 105. — Mécanisme du régulateur de Mersanne : face et profils.

éloignés; au moment où on lance le courant, l'électro-aimant CC, monté sur la même dérivation que l'électro-aimant B, attire la tige *qq*, fait basculer le porte-charbon de gauche, et le maintient soulevé jusqu'à ce que, par l'action de l'autre électro-aimant, les charbons arrivent au contact. Alors le passage du courant

charbon de gauche : un petit écart, déterminé par les vis de réglage, se produit entre les pointes des charbons, et l'arc jaillit instantanément.

Ce régulateur peut fonctionner verticalement. Mais il est plus particulièrement destiné à marcher horizontalement : on le munit alors de charbons de grande longueur pouvant durer tout le temps de l'éclairage, de façon qu'on n'ait ensuite rien à toucher aux appareils. Le système est complété par une *botte de sûreté*, qui introduit dans le circuit, en cas d'extinction de la lampe, une résistance R égale à la résistance maximum de l'arc, et qui met ainsi le fil de dérivation à l'abri d'être brûlé. Cette boîte contient un électro-aimant dont l'une des branches E' porte un fil fin, constituant sur le circuit principal une deuxième dérivation plus résistante que celle de la bobine B du régulateur : cet électro-aimant ne fonctionne donc que si, par suite d'une interruption pro-

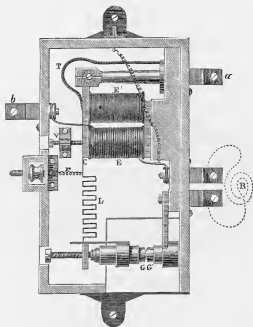


FIG. 107. — Boîte de sûreté de M. de Mersanne.

longée de l'arc, le courant afflue en excès dans les deux circuits dérivés ; il attire alors le contact C , et, par l'intermédiaire de la lame ondulée L , il appuie le bloc de graphite G contre le bloc G' . Or les deux bornes a et b sont réunies à celles de la lampe : le circuit $aTCLGG'REb$, actuellement fermé, se substitue donc au circuit de l'arc. Sur la branche E de l'électro-aimant est un gros fil, maintenant traversé par le courant principal ; l'effet de cette branche s'ajoute ainsi à celui de la branche E' pour presser l'une contre l'autre les deux pièces G, G' .

Le régulateur de Mersanne est aujourd'hui le seul employé par la Société lyonnaise, propriétaire de la machine Lontin (7). On se rappelle que cette machine permet d'obtenir autant de courants distincts qu'il y a de bobines induites, de

sorte qu'en plaçant un régulateur monophote sur chaque circuit on aurait un mode de division de la lumière électrique, en ce sens qu'on alimenterait plusieurs lampes avec un seul générateur. Le système se compose en réalité d'un générateur fournissant un certain nombre de courants distincts, lesquels alimentent chacun plusieurs arcs voltaïques. Ces deux modes de division s'aident mutuellement ; ils évitent la nécessité de multiplier à l'excès soit le nombre des courants issus de la machine, soit le nombre des foyers intercalés dans chaque circuit. Ainsi la halle des messageries de grande vitesse au chemin de fer de Lyon est éclairée, depuis le mois de mai 1879, au moyen de dix-huit foyers fournis par six séries de trois régulateurs chacune.

A l'Exposition d'électricité, on voyait dans la nef et la salle 19 plusieurs de ces foyers surmontés de trois armilles réfléchissantes.

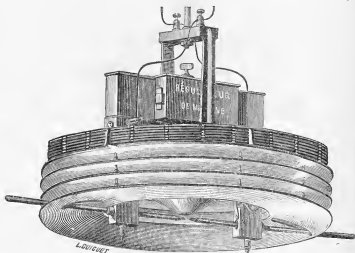


FIG. 108. — Régulateur de Mersanne avec ses armilles réfléchissantes.

Ce sont ces mêmes lampes de Mersanne qui éclairent la place du Carrousel ; douze lampes sont disposées sur des candélabres en fer galvanisé, semblables à ceux du gaz, mais beaucoup plus élevés, et terminés en haut par une courbure au bout de laquelle se monte la lampe à 8 mètres de terre. Une colonne de 20 mètres de hauteur, du genre de celles qui sont employées à Londres pour les grands foyers Siemens, porte à son sommet deux régulateurs. L'éclairage est très satisfaisant sur le sol, mais il s'arrête un peu brusquement au niveau du premier étage.

A la fête du 14 juillet 1884, on avait installé sur le boulevard des Italiens quatre foyers à charbons horizontaux : c'étaient des *lampes Million*, entretenues par une machine de Méritens. Les lampes Million sont des régulateurs à dérivation qui, après avoir fonctionné très régulièrement pendant plusieurs mois dans une grande teinturerie de Lyon, ont aujourd'hui cessé de brûler.



FIG. 109. — Régulateurs de Mersanne éclairant la place du Carrousel.



43. Régulateur Gramme. — Le régulateur Gramme est caractérisé par le

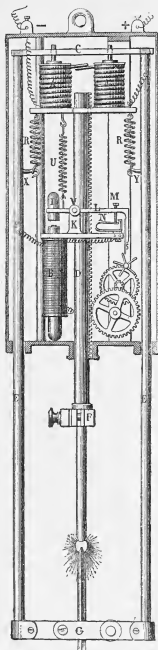


FIG. 110. — Régulateur Gramme.

trembleur intercalé dans le circuit dérivé. De P, sur l'une des tiges négatives, le

courant dérivé se rend à l'électro-aimant à fil fin B, puis au ressort N isolé de la pièce métallique sur laquelle il repose, et par la vis M rejoint la masse de l'appareil en communication avec le pôle positif. Cette vis M se trouve à l'une des extrémités d'un levier L, mobile autour d'un axe V et terminé à l'autre par le contact I. Tant que le courant principal conserve une intensité donnée, la lame S fixée au bout M du levier embraye le mouvement d'horlogerie que le porte-charbon supérieur D, très lourd, sollicite à tourner, tandis qu'il tend lui-même à descendre; ce porte-charbon reste donc fixe. Mais, dès que, l'arc s'allongeant, le courant principal faiblit, le courant dérivé augmente, l'électro-aimant B attire le contact, le levier bascule, et la lame S s'élevant permet aux rouages de tourner et par suite à la tige D de se mouvoir : le crayon supérieur se rapproche du crayon inférieur. En même temps, ce mouvement de bascule du levier a rompu le courant dérivé, l'électro-aimant devenu inactif cesse d'attirer le contact I, et le levier retombe dans sa position primitive pour être attiré de nouveau si l'arc n'a pas encore sa longueur normale. Le charbon supérieur arrive ainsi à la position voulue par une série de déplacements extrêmement petits, chacun nettement arrêté. Cette disposition supprime les oscillations qui se produisent quand l'équilibre doit s'établir entre deux forces antagonistes; mais elle provoque un bruit désagréable.

En haut de l'appareil est un électro-aimant AA, placé sur le circuit principal et opérant l'écart nécessaire à la formation de l'arc : l'armature C porte par les tiges EE le charbon inférieur; deux ressorts RR, attachés à ces tiges en X et Y, éloignent l'armature C de l'électro-aimant AA quand le courant ne passe pas. Le courant arrivant par la borne positive gagne la masse de l'appareil, le charbon supérieur, l'arc, le charbon inférieur, les tiges EE, et enfin l'électro-aimant AA : le contact est attiré, les tiges EE descendent, et l'écart se fait.

Une série de mesures relevées par la Commission d'expériences sur cinq lampes Gramme munies de charbons de 12 millimètres et servies par une machine Gramme fournissant, à la vitesse de 1496 tours, un courant de 15,3 ampères, ont donné pour l'intensité lumineuse horizontale 112, maximum 184, et moyenne 102 carcels, et par cheval mécanique 63,8, par cheval électrique 74,5, par cheval d'arc 98,1, par ampère 6,67 carcels. La chute de potentiel à la lampe était de 49,8 volts.

44. Lampe Berjot. — Dans la lampe Berjot, l'électro-aimant en dérivation E' commande un frein F qui presse sur un disque D formant le dernier terme d'un système de rouages que la tige du porte-charbon supérieur tend à entraîner en descendant. Ce système de rouages est lui-même renfermé dans une cage ABA'B', supportée par les ressorts RRRR; tirée vers le bas par le poids du charbon supérieur et par la masse M, la cage est soulevée au début, puis soutenue par l'électro-aimant E (1) placé sur le circuit principal. Quand le courant principal faiblit, l'électro-aimant E laisse descendre la cage et concourt ainsi, avec l'électro-aimant E', à dégager le disque. L'intervention continue de l'élec-

(1) Le noyau des électro-aimants E et E' est coupé par le milieu, la moitié supérieure servant de contact, comme dans l'électromoteur de M. Bourbouze.

tro-aimant qui a produit l'écart initial, se trouve sans doute dans les autres appareils du même genre, dans le régulateur Gramme, par exemple, mais à un

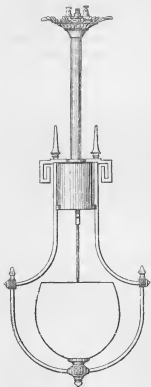


FIG. 111. — Lampe Berjot.

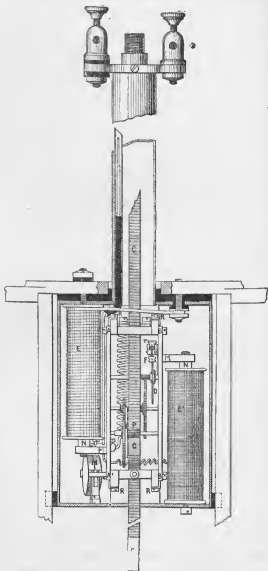


FIG. 112. — Mécanisme de la lampe Berjot.

degré bien moindre. Pratiquement, l'électro-aimant AA de la lampe Gramme n'intervient pas dans la régulation. Ici, au contraire, la cage est dans un état vibratoire continu.

Le régulateur Berjot éclairait à l'Exposition le pavillon des télégraphes français et les abords de ce pavillon d'une manière très satisfaisante.

La Commission d'expériences a opéré sur cinq foyers Berjot, munis de charbons de 20 millimètres et alimentés par une machine de Méritens (la même qui avait servi avec la lampe Serrin des phares). L'intensité lumineuse s'est montrée horizontalement de 171 et moyennement de 154 carcels; le nombre de carcels a été par cheval mécanique 59,7, par cheval électrique 69,9, par cheval d'arc 87,3, par ampère 3,59. La chute de potentiel dans l'arc était de 36 volts.

45. Autres lampes à dérivation: Crompton, Gérard, Brockie. — Nous trouvons encore la bobine de dérivation dans divers appareils intéressants :

La lampe Crompton est munie d'un double contact comme la lampe Maxin,

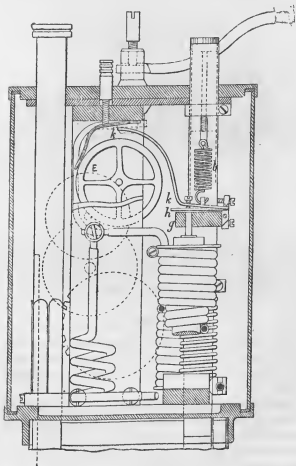


FIG. 113. — Lampe Crompton : coupe.

L'armature principale *g* produisant l'écart, et l'armature légère *h* effectuant le réglage au moyen d'un bras coudé *kk* qui fait frein contre une roue *E* placée sur le dernier mobile du mécanisme destiné à rapprocher les charbons. Construite

d'abord pour fonctionner isolément, cette lampe est devenue un bon appareil à division par la simple substitution d'une bobine de dérivation au ressort antagoniste de la petite armature; le système est complété par un intercepteur automatique. A l'Exposition, dans la nef, une lampe monophote Crompton brûlait d'une manière remarquablement fixe derrière un verre bleu. La station de King's Cross est depuis plus de deux ans éclairée par six lampes Crompton à bobine de dérivation, alimentées par une machine Bürgin. Cet ensemble des lampes Crompton et de la machine Bürgin, étudié par M. Hagenbach à Winterthur et par M. Chelmsford à King's Cross, a été de nouveau examiné à l'Exposition par la Commission d'expériences qui, avec trois lampes, a trouvé pour l'intensité

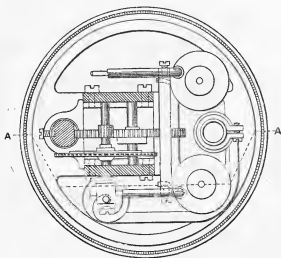


FIG. 114. — Lampe Crompton : plan.

lumineuse horizontale 50, maximum 227, moyenne 82 carcels, et par cheval mécanique 46,2, par cheval électrique 48,4, par cheval d'arc 79,9, par ampère 4,43 carcels. La machine génératrice, marchant à 1535 tours par minute, fournissait un courant de 18,5 ampères. La chute de potentiel à la lampe était de 41 volts.

Dans la *lampe Gérard*, un électro-aimant unique en dérivation commande un frein réglant le glissement du charbon supérieur, comme dans le régulateur Brush. A chaque lampe est joint un *veilleur automatique* : pendant la marche normale, le courant arrive à l'une des bornes inférieures, monte à la borne supérieure du même côté, puis traverse la lampe pour revenir par les bornes opposées. En cas d'extinction du brûleur, le courant passe tout entier dans la bobine de dérivation de la lampe et dans le fil de l'électro-aimant E, également placé en dérivation. Cet électro-aimant attire alors son armature F, qui, en basculant, dégage un crochet soutenant une sorte de pont métallique. Celui-ci, tombant dans les godets G et G', ferme le courant principal. En poussant à la main la tige S, on produit

le même effet, et par suite on éteint la lampe ; en soulevant la tige T, on la rallume.

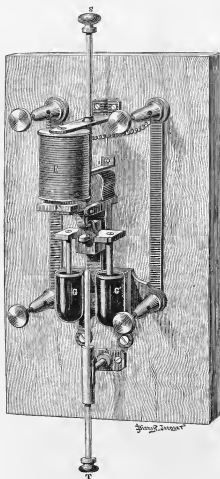


FIG. 115. — Veilleur Gérard.

Un régulateur original est celui de M. *Brokie* ; chaque minute un petit disjoncteur, mis en mouvement par la machine, interrompt pendant un temps extrêmement court le courant dans une bobine de dérivation ; le charbon supérieur, devenu libre, tombe sur le charbon inférieur, au-dessus duquel il est presque immédiatement relevé à une hauteur invariable. Cette remise à distance toutes les minutes assure à l'arc une longueur absolument constante ; elle est si rapide, qu'elle passe inaperçue, et le choc a l'avantage de faire tomber les cendres des charbons. Le régulateur Brockie, très estimé en Angleterre où il éclaire Cannon Street, était représenté à l'Exposition par plusieurs foyers à la British Electric Light Co.

C. — *Division par distribution.*

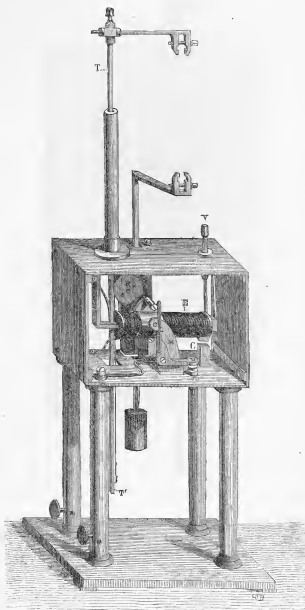
46. **Système Gravier; système Gülcher.** — La division de la lumière

FIG. 116. — Régulateur Gülcher.

électrique peut encore être obtenue par une troisième méthode, par une *distribution* convenable de l'électricité entre des régulateurs ordinaires montés en

dérivation sur un seul circuit, que traverse un courant continu (1). Ce mode de division était représenté à l'Exposition par plusieurs systèmes, entre autres le système Gravier et le système Gülcher.

Dans le système Gravier, la lampe n'offre rien de nouveau : ce n'est autre chose qu'un régulateur Serrin avec le mécanisme en haut.

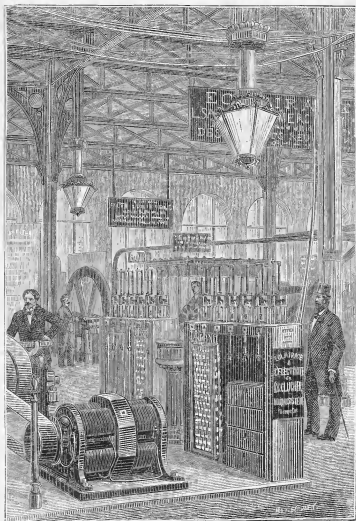


FIG. 117. — Les lampes Gülcher à l'Exposition.

Le régulateur Gülcher se distingue au contraire par des qualités spéciales. Le mécanisme est remarquablement simple : un électro-aimant horizontal E peut pivoter verticalement autour d'un axe horizontal ; devant l'une des extré-

(1) Avec des courants alternatifs, il faut intercaler dans les branches de dérivation des condensateurs (ou des voltamètres, comme l'a proposé M. Avenarius).

mités de cet électro-aimant est le porte-charbon supérieur, constitué par une tige de fer TT' qui agit comme contact relativement à l'électro-aimant; sous

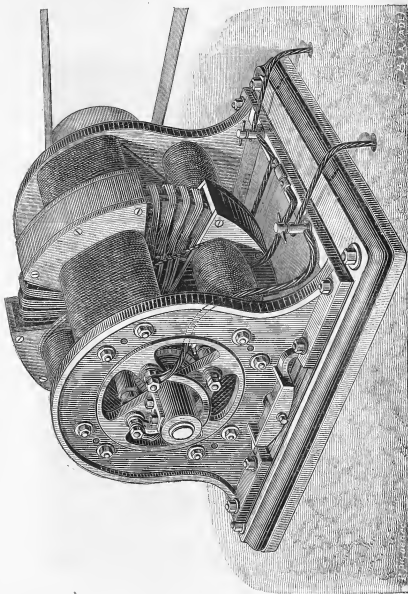


FIG. 118. — Machine Gulcher.

l'autre extrémité est un contact fixe C. Le porte-charbon inférieur est relié au porte-charbon supérieur par un cordon passant sur une poulie R. En l'absence de courant, les deux charbons se touchent. Lorsque le courant s'établit, l'électro-aimant saisit le porte-charbon supérieur et, basculant lui-même sous l'action du contact fixe, le soulève d'une petite quantité : l'arc jaillit. L'écart initial est réglé

par une vis V, terminée par un ressort, contre lequel s'arrête l'électro-aimant quand, après s'être éloigné, il tend à revenir à sa position initiale : un frein formé par un petit contact en fer doux fixé au ressort L, le retient avec une force qui dépend de l'intensité du courant. Si l'arc s'allonge, le courant faiblit, l'électro-aimant laisse glisser un peu la tige TT', et les charbons se rapprochent, l'électro-aimant étant d'ailleurs toujours prêt à relever le charbon supérieur s'il

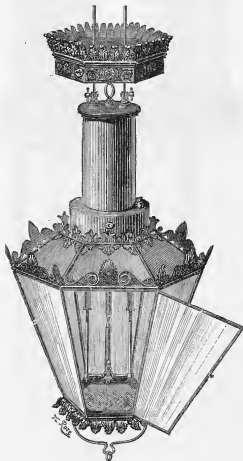


FIG. 119. — Lanterne Gülcher pour l'éclairage public.

glissait trop. L'arc est très petit (il atteint à peine un demi-millimètre) et d'une grande fixité. A l'Exposition, presque en face de l'entrée principale de la nef, deux séries de six régulateurs Gülcher chacune attiraient l'attention par leur éclat et leur régularité qui les recommande spécialement pour les projections. Ces appareils étaient tous montés en dérivation résistante (1) : par suite de cette

(1) Le fil, de section 12, partant de la borne positive, se divise en arrivant à la première lampe : un fil de section 1 se rend à la lampe, et le fil du circuit, maintenant de section 11, se dirige vers la deuxième lampe, où il laisse de même un fil de section 1 et ainsi de suite jusqu'à la

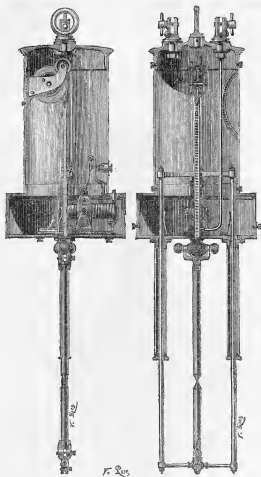


FIG. 120 et 121. — Lanternes Gùlcher pour usines : profil et face.

dernière lampe où il arrive réduit à la section 1. Il traverse cette lampe et, en revenant à la machine, il recueille en chemin les fils partant des différentes lampes, de sorte qu'au moment où il atteint la borne négative, il a repris la section 12. Chaque lampe est ainsi dans les mêmes

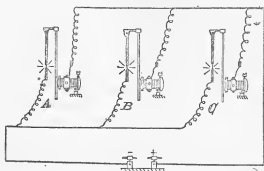


FIG. 122. — Mode de montage des lampes Gùlcher.

conditions que si elle était placée sur un circuit de section 1, directement relié aux deux bornes de la machine.

disposition en effet, chaque lampe se comporte par rapport aux autres comme la bobine de dérivation d'une lampe de la deuxième classe, et les divers foyers sont sensiblement indépendants. Le générateur était une machine Gülcher, machine dont l'anneau du type Pacinotti, à section cunéiforme, est étroitement embrassé par deux pièces en forme d'U, reliant les pôles de même nom des électro-aimants inducteurs. Cet ensemble était éclairé par des réverbères Gülcher, représentés plus en grand dans la figure 119. Les figures 120 et 121 indiquent une autre forme de lanternes, employée par l'inventeur dans ses ateliers de Biala, en Autriche.

3^e Bougies électriques.

47. Bougie Jablochkoff. — A la fin de l'année 1876, un jeune officier de l'armée russe, M. Jablochkoff, changea radicalement la disposition ordinairement donnée aux charbons dans la lampe électrique; il les plaça côte à côte parallèlement, en les séparant par du kaolin et en recouvrant le tout d'une enveloppe isolante d'amiante: l'appareil avait alors la forme d'une bougie et il en reçut le nom. Cette bougie se plantait dans un chandelier disposé de manière à conduire le courant (1) dans les charbons. Une petite bande de charbon placée en haut de la bougie servait, en se consumant, à produire l'allumage. L'arc établi, les charbons brûlaient également, et en même temps le kaolin fondait et se volatilisait: la bougie s'usait, l'arc restant toujours à sa partie supérieure.

Pour bien saisir l'importance de cette invention et l'influence considérable qu'elle a eue sur l'extension de l'éclairage par l'électricité, il faut se reporter à l'époque, cependant peu éloignée de nous, où M. Jablochkoff imagina sa bougie. Jusqu'alors la lumière électrique n'avait été employée qu'exceptionnellement et pour éclairer de grands espaces: on ne maintenait l'arc qu'au moyen de régulateurs compliqués; chaque lampe réclamait un circuit distinct. M. Jablochkoff supprime tout mécanisme, place autant de foyers que l'on veut sur le même circuit, et, par cette division de la lumière, la rend propre à l'éclairage des rues et des appartements. On comprend l'engouement dont sa bougie fut l'objet lorsqu'on la vit, pendant l'Exposition de 1878, aux magasins du Louvre, place du Théâtre-Français, avenue et place de l'Opéra, aux Halles, à la Bastille, montrant pour la première fois la possibilité de l'éclairage public et privé par l'électricité.

La pratique suggéra toutefois plusieurs modifications de détail. La première fut la suppression de l'enveloppe non conductrice, dont on reconnut l'inutilité. La matière isolante intermédiaire, ou *colombin*, fut longtemps le kaolin: il fond en effet à la surface et fournit dès lors à l'électricité un chemin tout tracé; mais la régularité ainsi obtenue se paye chèrement, cette fusion absorbant une notable quantité de chaleur et par suite d'énergie. On substitua donc au kaolin le

(1) M. Jablochkoff avait d'abord cherché à compenser l'inégale combustion des deux charbons soumis à un courant continu en donnant au charbon positif un diamètre double du charbon négatif. Mais, si par ce moyen les deux charbons se maintenaient bien à la même hauteur, le plus petit rougissait sur une grande longueur, ce qui est un grave inconvénient. M. Jablochkoff employa alors un courant alternatif, qui lui permit de prendre des charbons égaux.

plâtre additionné de sulfate de baryte : ce nouveau colombin ne fond pas, il se volatilise immédiatement dans l'arc, en le chargeant de particules incandescentes ; de plus, il est si facile à travailler, que deux ouvriers en font près de 15 000 baguettes en un jour.

La bougie se compose actuellement de deux charbons, de 4 millimètres de diamètre et 25 centimètres de longueur, coupés dans une même baguette, de



FIG. 123. — Bougie Jablochkoff.

façon qu'ils soient bien identiques ; ces deux charbons, ordinairement métallisés, sont séparés par une lame de colombin de 3 millimètres de largeur et de 2 millimètres d'épaisseur. A la partie inférieure, ils s'engagent sur une étendue de 15 millimètres dans deux petits tubes de cuivre [séparés également par une matière isolante assez dure pour résister à la pression des mâchoires du chan-

delier qui recevra la bougie; cette base est attachée au corps même de la bougie par une ligature au silicate de potasse. En haut, les deux charbons, taillés en pointe, sont recouverts d'une amorce, que l'on obtient en les plongeant dans une pâte de houille et de plombagine pulvérisées et délayées dans de l'eau gommée.

La bougie est prise entre les mâchoires d'une pince: quatre pinces sont habituellement réunies sur un même chandelier en onyx, placé à la base d'un globe en verre opale, ou craquelé ou clissé (ondulé), qui sert à diffuser la lumière.

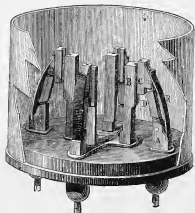


FIG. 124. — Chandelier pour quatre bougies Jablochkoff.

Ce système se dispose, avec d'autres montés en série, sur un circuit traversé par des courants alternatifs et, au moyen d'un commutateur, on dirige d'abord les courants dans la première bougie, puis, quand celle-ci a brûlé, dans la deuxième, et ainsi de suite. Chaque bougie durant deux heures, quatre bougies éclaireront pendant huit heures. Il n'y a évidemment aucune difficulté à construire des chandeliers munis d'un plus grand nombre de bougies: les chandeliers de la place de l'Opéra avaient douze bougies, et sur chaque chandelier deux bougies brûlaient à la fois. La commutation s'accomplissait mécaniquement: un manœuvre passait tous les sept quarts d'heure environ et, tournant rapidement la clef d'un commutateur placé dans le pied de chaque candélabre, remplaçait la bougie près de s'éteindre par une nouvelle. C'est ainsi le plus souvent que l'on procède. Il est cependant fort aisé de disposer les choses de manière à ce que le changement se fasse automatiquement: il suffit par exemple de mettre au bas de la bougie une bande de métal, se dilatant lorsque l'arc s'en approche, et agissant sur un électro-aimant qui opère le changement au moyen d'un commutateur étoilé à mercure. A la gare d'Anvers-Bassins, chaque lanterne fait ainsi, quand il le faut, un service de dix-huit heures sans qu'on y touche.

A la fin de 1878, M. Gadot avait imaginé de conduire le courant en même

temps à toutes les bougies d'un chandelier: le courant choisit alors la moins résistante, l'allume et, une fois celle-ci allumée, la traverse presque exclusivement parce qu'elle offre alors beaucoup moins de résistance que les autres; il s'y tient donc et ne la quitte qu'après usure complète pour se porter sur la moins résistante de celles qui restent, et ainsi de suite jusqu'à ce que toutes les bougies soient consumées. Ce système, très ingénieux, a cependant l'inconvénient de ne pas donner toujours un allumage franc, le courant hésitant parfois avant de s'établir définitivement dans une bougie; aussi, pour une installation de longue durée, préfère-t-on habituellement se servir d'un commutateur.

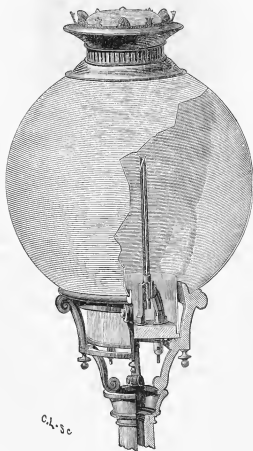


FIG. 125. — Lanterne à bougie Jablochkoff.

La bougie Jablochkoff n'est pas sans défauts: la lumière manque de fixité et se colore de teintes diverses; les extinctions même ne sont pas rares, ce qui est

d'autant plus grave que la bougie éteinte ne peut pas se rallumer (1); enfin il se produit un sifflement, très désagréable dans les espaces fermés. Ce sifflement,

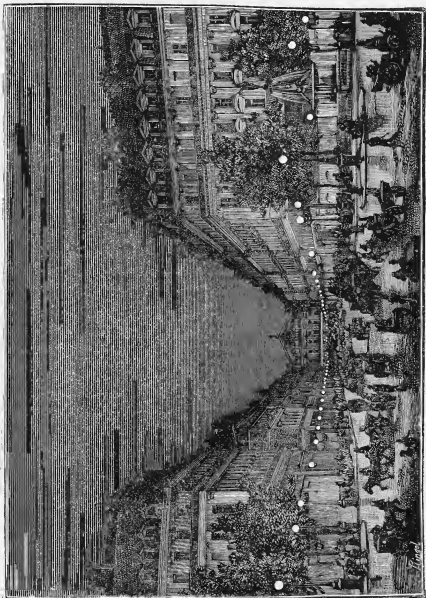


Fig. 126. — Bougies Jablochkoff éclairant l'avenue de l'Opéra.

conséquence de l'emploi des courants alternatifs, paraît difficile à supprimer tout

(1) M. Jablochkoff a constaté dès le début qu'en mettant dans le colombin de la fine limaille de cuivre, on donne à la lampe la possibilité de se rallumer plus de deux secondes après son extinction. Malgré cela, comme on a toujours cherché avant tout la simplicité, on n'a jamais employé couramment ce colombin métallisé.

à fait. Les changements d'intensité et de teintes sont principalement dus à des défauts du colombin : si celui-ci s'use trop vite, s'il se détache des charbons, l'arc descend le long des baguettes dénudées, les sommets abandonnés se refroi-

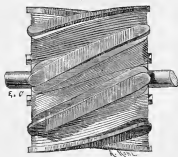


FIG. 127. — Machine Jablockoff : pignon inducteur.

dissent et présentent ces teintes rousses que l'on observe trop souvent. En perfectionnant la fabrication, on atténuerait certainement ces variations; mais

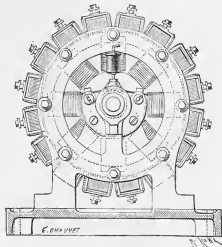


FIG. 128. — Machine Jablockoff : élévation.

arrivera-t-on jamais à la fixité d'un bon régulateur ou d'une lampe à incandescence ?

Malgré ces inconvénients, depuis le mois de mai 1877, où les premiers essais publics ont été faits aux magasins du Louvre, dans le Hall Marengo, la bougie

Jablochkoff s'est répandue à ce point, qu'on en brûle actuellement plusieurs milliers chaque jour dans les deux hémisphères.

La bougie Jablochkoff s'alimente par une machine quelconque à courants alternatifs. Expérimentée d'abord avec la machine de l'Alliance, elle fonctionne le plus habituellement aujourd'hui avec la machine Gramme ou la machine Siemens à courants alternatifs. M. Jablochkoff a même construit une machine à lumière, constituée par un pignon inducteur à dents obliques et un système de bobines induites fixes. La figure 128 montre l'élévation du modèle à seize bobines : les dents du pignon, ainsi que les noyaux des bobines, sont formées de lames de tôle superposées; le fil inducteur aboutit à deux anneaux fixés sur l'axe et servant à introduire le courant de l'excitatrice (machine Gramme), amené par deux frottoirs; les bobines induites se groupent à volonté.

Pour entretenir une bougie Jablochkoff dans les conditions normales, il faut un courant dont l'intensité moyenne soit de huit à neuf ampères environ; à onze ampères les charbons rougissent sur toute leur longueur; la bougie cesse de brûler quand l'intensité tombe à cinq ampères. MM. Joubert et Le Blanc ont constaté que l'intensité lumineuse de la bougie nue vue de profil égale les 0,57 de l'intensité de la même bougie vue de face. Un globe opale ordinaire (modèle des anciennes lanternes de l'avenue de l'Opéra) absorbe 42 pour 100 de la lumière totale émise par la bougie; un globe laiteux clair ou craquelé absorbe 33 pour 100; un globe Baccarat 25 pour 100. Relativement à l'éclairage du sol, on a reconnu qu'une bougie avec globe opale valait un peu plus de deux becs de gaz de 1400 litres (modèle de la rue du Quatre-Septembre), équivalant chacun à treize carrels. On trouvera plus loin le tableau des expériences très nombreuses et très concordantes faites sur les bougies Jablochkoff par la Commission d'expériences.

48. Bougie Wilde. — Quelque simple que soit la bougie Jablochkoff, elle le serait plus encore si le colombin, placé entre les deux charbons, pouvait être supprimé sans inconvénient.

Des bougies sans colombin ont été construites dès 1878 presque simultanément par M. Wilde et par M. Rapiéff. L'avantage le plus net de cet arrangement consistait dans l'allumage automatique. La disposition des appareils était d'ailleurs des plus simples; nous la décrirons seulement pour les bougies Wilde.

Deux charbons C, C', de 4 millimètres de diamètre, sont saisis chacun entre la mâchoire M et le galet G d'une pince à ressort plat B. L'une des pinces est fixe, l'autre est mobile, et dans l'état de repos elle s'incline de façon que les deux charbons, séparés à la base par un intervalle de 3^{mm},5 environ, se touchent à leur sommet. Si un courant est lancé dans l'appareil, le charbon incliné C se redresse immédiatement sous l'effort de l'électro-aimant, qui tire à lui un contact fixé à la pince de ce charbon : l'écart se produit, et l'arc jaillit. Cet arc reste en haut par le concours des trois causes suivantes : la légèreté spécifique de l'arc même, les actions électro-dynamiques des charbons sur l'arc, et enfin la faible obliquité que conserve le charbon C. Le colombin étant supprimé, on peut donner aux charbons telle longueur que l'on veut; on loge alors la partie inférieure des baguettes dans le pied de l'appareil, et, en soulevant de temps en temps les

charbons avec un bouton disposé comme celui d'un chandelier de cuisine, on

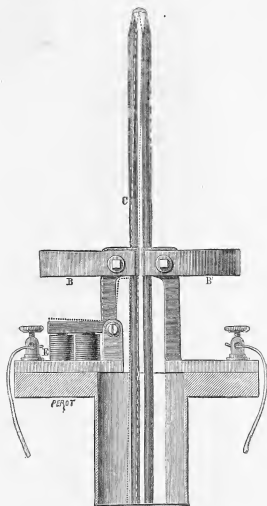


FIG. 129. — Bougie Wilde.

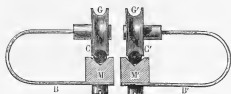


FIG. 130. — Pince à galets de la bougie Wilde.

maintient aisément le point lumineux au-dessus des pinces tant que durent les charbons. On peut aussi disposer plusieurs bougies sur un même support: la

figure 131 montre un chandelier pour quatre bougies, assez semblable à ceux de M. Jablochkoff.

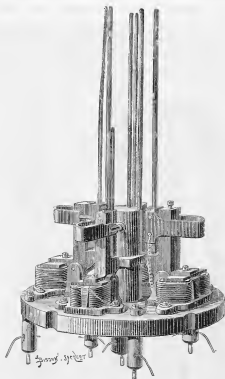


FIG. 131. — Chandelier pour quatre bougies Wilde.

49. **Bougie Jamin.** — En 1879, M. Jamin présenta à l'Académie des sciences une bougie constituée par deux charbons placés de même côte à côte sans interposition de colombin, mais de plus entourés d'un *cadre directeur* traversé par le courant. Sous l'action électro-dynamique de ce cadre, l'arc est maintenu à l'extrémité des charbons, et l'on peut placer la bougie la pointe en bas, position éminemment favorable au bon emploi de la lumière produite. Sans doute, il n'est pas impossible de faire brûler ainsi la bougie Wilde ou la bougie Debrun (50); mais il faut alors se servir d'un courant assez intense pour que l'arc qui de lui-même tend à remonter, soit maintenu à la partie inférieure par l'action électro-dynamique des charbons. Si l'on se propose au contraire de n'alimenter la bougie que par un courant peu intense, l'action des charbons ne suffira plus à fixer l'arc à la pointe, même dans la bougie redressée; et il faudra alors, en l'absence de colombin, avoir recours au cadre directeur. Ce cadre, dont l'idée caractérise la bougie Jamin, est donc exigé par la condition que l'on s'était imposée de ne dépenser pour chaque bougie qu'une faible quantité d'électricité. A l'époque où M. Jamin a créé son brûleur, il résolvait certainement d'une manière intéressante une difficile question.

Telle qu'elle fut présentée au public en juin 1880, et telle qu'elle figura à l'Exposition d'électricité en 1881, la bougie Jamin se compose d'un cadre oblong, large, mais peu épais, constitué par un fil de cuivre fin, replié quinze ou vingt fois sur lui-même et recevant le courant alternatif d'une machine Gramme. C'est au milieu de ce cadre et dans son plan que se placent les bougies à couples de charbons entre lesquels doit jaillir l'arc. Les charbons de droite *b* sont fixes et verticaux ; ceux de gauche *a* sont suspendus à une barrette CC', rattachée par le

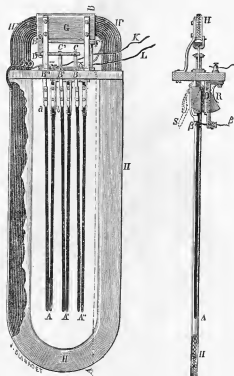


FIG. 132 et 133. — Brûleur Jamin : face et coupe.

levier ED à une palette mobile en fer doux EF. Par son poids, ce système rapproche les charbons jusqu'à ce que l'un d'eux vienne toucher son compagnon ; l'appareil est ainsi toujours prêt à s'allumer. Quand on lance le courant, la gouttière en fer doux G, située en haut du cadre, s'aimante et attire la palette EF ; les trois couples de charbons s'écartent à la fois, mais l'arc jaillit seulement dans la bougie qui offre le moins de résistance, comme on l'a déjà vu à propos du chandelier Gadot.

Quand une bougie est consumée, un fil de laiton $\beta\beta$, fixé au pied du charbon *b*, fond et lâche ce charbon qui, pressé par le ressort R, est violemment chassé en S, hors du plan du cadre. L'arc s'éteint, mais il se rallume aussitôt dans la bougie voisine.

Ajoutons enfin que, comme dans les lampes à division, en cas d'accident survenant à un brûleur, un *parachute* remplace par une résistance équivalente

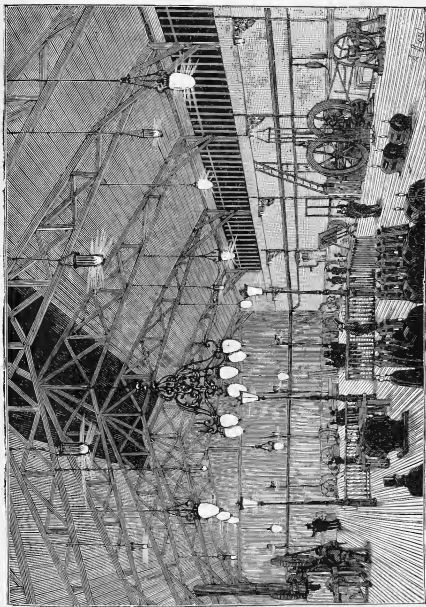


Fig. 134. — Ateliers de la compagnie Jamin, en 1880.

la bougie éteinte, ce qui laisse les autres dans l'état où elles étaient d'abord. La figure ci-jointe, qui représente les ateliers Jamin en 1880, montre les

diverses formes sous lesquelles on peut employer la bougie, soit à feu nu comme dans la cour des Messageries, soit avec des globes oblongs comme au café-concert du Château-d'Eau et dans la plupart des autres installations faites suivant ce système.

Pour obtenir d'une seule machine l'alimentation d'un grand nombre de foyers, M. Jamin diminua la section et augmenta la longueur du fil induit, ainsi que la vitesse de rotation. A l'Exposition, une seule petite machine Jamin alimentait 60 bougies disposées en tension sur quatre circuits, au coin S.-O. de la nef: c'est sur cet ensemble qu'a opéré la Commission d'expériences. Au premier étage, les bougies Jamin éclairaient chaque soir le salon (salle 3) et deux salles voisines (salles 5 et 6). Dans la salle 5, on voyait en outre une lampe à air confiné renfermant cinq bougies et capable de brûler cent cinquante heures de suite. Ce curieux appareil a été le point de départ de recherches très intéressantes (1).

Sous une grande cloche de machine pneumatique, M. Jamin plaça une bougie de telle façon que l'on pût à volonté du dehors rapprocher ou éloigner les extrémités supérieures des deux charbons. Le vide étant fait sous la cloche aussi complètement que possible, la bougie fut mise en relation avec une machine à courants alternatifs. On sait qu'alors l'arc ne se forme pas; il est remplacé par les lueurs des tubes de Geissler (2); mais, si l'on introduit quelques gouttes de sulfure de carbone de manière à obtenir un accroissement de 0^m,05 à 0^m,06 de pression, on voit l'arc s'allumer entre les pointes quand elles se touchent et persister quand on les sépare. A ce moment il y a comme une explosion de lumière, si vive que l'œil ne peut la supporter. En la regardant avec des verres foncés, on distingue un arc éclatant, de 0^m,05 à 0^m,06 de hauteur, qui ressemble à un fer à cheval ou à un oméga majuscule. Examinée au spectroscopie, cette lumière présente quatre parties cannelées dans le rouge, le jaune, le vert et le violet, tellement identiques qu'on les prendrait, à la coloration près, pour un même dessin qui se serait transporté du rouge au violet, la plage verte étant de beaucoup la plus lumineuse.

Au cours de ces expériences, M. Jamin a reconnu que, si dans un circuit traversé par des courants alternatifs on produit un arc entre une pointe de charbon et une masse de mercure, cet arc a la coloration verte de l'arc formé par un courant continu allant du mercure au charbon, tandis qu'un courant continu dirigé en sens contraire donne un arc rougeâtre avec une moins abondante production de vapeurs. Ainsi l'aspect de l'arc révèle une prédominance du courant qui va du mercure au charbon sur le courant qui suit le sens opposé: par le seul fait de l'existence de cet arc, l'un des systèmes de courants de la machine est sinon éteint, du moins considérablement affaibli, tandis que l'autre système est constitué par des courants successifs d'une intensité et d'une durée plus grandes.

(1) Jamin et Maneuvrier, *Comptes rendus*, 1882.

(2) Les lueurs produites par les courants alternatifs à haute tension dans le vide imparfait des machines pneumatiques, ont un éclat remarquable à cause de la grande quantité d'électricité qui passe; en outre, chacun des charbons montre à la fois les apparences qui caractérisent les deux pôles avec la bobine, c'est-à-dire l'aurole bleue qui appartient au pôle négatif et au delà la leur stratifiée plus pâle, due au pôle positif.

50. **Bougie Debrun.** — Nous citerons encore une troisième bougie sans colombin, la bougie Debrun, qui s'allume automatiquement d'une manière curieuse : un petit morceau de charbon, commandé par un électro-aimant en dérivation, vient toucher à leur base les deux charbons fixes et parallèles ; l'arc jaillit au pied des charbons et monte rapidement jusqu'à la pointe où il se fixe. La bougie allumée, un relais supprime le courant dans l'électro-aimant. En 1881, cette bougie éclairait le Grand-Théâtre de Bordeaux, ainsi que plusieurs cafés, hôtels et ateliers de cette ville. A l'Exposition d'électricité, M. Debrun avait disposé 7 de ses bougies sur l'un des circuits d'une machine Debrun (1) disposée pour deux courants ; c'est sur cet arrangement défectueux que la Commission d'expériences a opéré.

51. **Extrait du tableau des résultats obtenus relativement aux bougies par la Commission d'expériences.** — Voici une partie des résultats obtenus par la Commission d'expériences dans les conditions indiquées plus haut :

	JABLOCHKOFF		JAMIN			DEBRUN	
	Machine Gramme 20 boug.	Machine Méritens 25 boug.	Machine Jamin 32 boug. 48 boug. 60 boug.			Machine Debrun 7 boug.	
Travail moteur total.....	12,89	6,95	26,00	26,13	23	13,83	chevaux
Intensité du courant inducteur.	53,3	»	25	25	25	»	ampères
Intensité du courant produisant la lumière.....	7,5	8,5	6,1	5,1	3,5	10,0	ampères
Différence de potentiel à la bougie.....	43	42	77	69	74	50	volts
Rendement mécanique des arcs.	0,68	0,67	0,78	0,88	0,89	0,44	
Rendement électrique des arcs.	0,78	0,87	0,88	0,92	0,94	»	
Intensité lumineuse horizontale de face.....	27,7	32,5	22,0	23,9	12,9	37,6	carcels
Intensité lumineuse moyenne sphérique.....	20,2	23,7	16,0	17,4	9,4	27,4	—
Carcels par cheval mécanique..	34,3	34,8	19,7	32,0	24,5	13,9	—
— — électrique..	36,2	45,6	22,2	33,4	25,8	»	—
— — d'arc.....	46,3	51,6	25,3	36,4	27,3	31,6	—
— par ampère.....	2,69	2,79	2,69	3,41	2,69	2,74	—

Ainsi, « avant d'être résolu par les lampes à incandescence pour des intensités lumineuses beaucoup plus petites, le problème de la division des foyers électriques avait déjà reçu une très heureuse consécration par l'emploi des bougies Jablochkoff et de celles qui ont pris depuis lors une certaine place dans la pra-

(1) Cette machine n'est autre que celle de Gramme, telle qu'on la construit pour alimenter huit bougies Jablochkoff, mais avec excitatrice montée sur le même arbre.

tique. Il est vraiment curieux de constater que les différents systèmes produisent, dès aujourd'hui, des résultats économiques presque identiques, tant sous le rapport du nombre de carcels fournis par un cheval mécanique ou électrique que sous le rapport du rendement électrique des arcs (1) ».

(1) Commission d'expériences, *Comptes rendus*, XCV; 1882.

CHAPITRE IV

LAMPES A INCANDESCENCE

52. De l'incandescence. — La pile de Volta était à peine inventée que l'on se demanda si elle ne pourrait pas, comme la foudre ou la décharge d'une batterie, fondre et volatiliser les métaux. Thénard fit l'expérience (1801), et réunissant les deux pôles de la pile par un fil métallique, il vit ce fil rougir, fondre, se volatiliser même avec d'autant plus de facilité, qu'il était plus court et plus fin. Un fil de dimensions convenables restait indéfiniment incandescent.

Il y a donc là une sorte de lumière complètement distincte de l'arc, bien que procédant comme lui d'origine électrique. Mais il était encore plus difficile d'en tirer parti. Les premiers essais paraissent dus à de Moleyns (1844), qui se servait d'un fil de platine; Petrie (1847) employa le platine iridié; de Changy (1858) revint au platine ordinaire, et par le moyen de spirales assez convenablement maintenues à l'incandescence obtint un mode de division de la lumière électrique qui fit un certain bruit à l'époque (1). Un fil de platine contourné en spirale constituait aussi la première lampe d'Edison (1878) : ce fil était logé dans un petit globe de verre où l'on avait fait le vide tout en chauffant le fil par le passage du courant, de façon à chasser les gaz contenus dans les pores du métal. En plaçant le fil dans le vide, on diminuait le refroidissement déjà combattu par la forme en spirale; mais on ne supprimait pas le défaut capital des lampes à fil de platine, à savoir leur fragilité. Bien qu'une tige contenue à l'intérieur de la spirale et chauffée par elle, établit en se dilatant, si la température s'élevait trop, une dérivation destinée à préserver le fil de la fusion, on ne réussissait pas à empêcher complètement cet accident et encore moins à prévenir la désagrégation qui se produit même notablement au-dessous du point de fusion.

Il fallut donc renoncer au platine. Restait le charbon. En 1845, deux Américains, Starr et King, avaient apporté en Angleterre une lampe à incandescence, qui consistait en une mince aiguille de charbon de cornue fixée aux deux bouts dans deux cubes de charbon et enfermée dans un tube vide d'air. Malgré les encouragements de Faraday, malgré quelques perfectionnements introduits par Greener et Staite, ce système était tombé dans l'oubli quand un physicien russe, M. Lodyguine, reprit la question et construisit une lampe qui lui valut un grand prix de l'Académie des sciences de Saint-Petersbourg en 1874. Dans son rapport, M. Wild fit très nettement ressortir la supériorité du charbon sur le platine pour la production de la lumière par incandescence : « Le charbon possède, à température égale, un pouvoir rayonnant plus grand que le platine. La capacité calorifique du charbon est beaucoup moindre, de telle sorte que la même quantité de chaleur élève le crayon de charbon à une température plus élevée qu'elle ne ferait pour un fil de platine. En outre, la résistance électrique

(1) Jobard, *Comptes rendus*, févr. 1858.

du charbon est environ 250 fois celle du platine, le crayon de charbon peut donc être beaucoup plus gros, tout en s'échauffant autant que le métal. Enfin le charbon est infusible. » M. Kosloff, qui importa à Paris la lampe Lodyguine, la perfectionna quelque peu, sans aboutir à des résultats satisfaisants. M. Konn réussit mieux (1875), et sa lampe en vase clos, construite en France par M. Duboscq, sembla d'abord bien près de fournir la solution tant cherchée. Mais, pas plus que la lampe Lodyguine qui l'avait précédée, pas plus que la lampe Boulignine (1876) qui la suivit, elle ne pouvait se prêter à un service régulier. Toutes ces lampes présentaient un même inconvénient : le charbon se désagrégeait, s'amincissait graduellement en son milieu, et finissait par casser.

C'est alors que M. Reynier, tournant la difficulté, inventa sa lampe à incandescence dans l'air.

L'incandescence pure n'était cependant pas impraticable : les progrès réalisés dans l'art de faire le vide permettent de débarrasser le charbon des gaz qu'il renferme toujours et de lui donner l'homogénéité et la cohérence nécessaire pour en assurer la durée. Un judicieux emploi de ces moyens devait bientôt amener le succès.

Sans vouloir discuter une question de priorité difficile à trancher entre M. Edison et M. Swan, on peut affirmer du moins qu'à la fin de l'année 1880, le problème était pour l'un et l'autre complètement résolu.

Nous examinerons successivement la solution indirecte de M. Reynier et les appareils à incandescence pure dans le vide.

1^{re} Lampes à incandescence dans l'air.

53. Lampes Reynier et dérivées : Werdermann, Napoli. — Au commencement de 1878 (1), M. Reynier construisit une lampe avec une baguette de charbon très mince posée verticalement sur un bloc de charbon et recevant le courant pénétrant dans la baguette près de son extrémité par un contact latéral : un très petit arc s'établissait à la pointe, qui devient elle-même incandescente et se consume seule lentement. Mais, avec les charbons impurs que l'on avait alors, les cendres s'accumulaient vite autour de la pointe, et la lumière faiblissait. Pour remédier à ce défaut, M. Reynier tailla son bloc de charbon sous la forme d'un disque que faisait lentement tourner la pression de la baguette posée excentriquement au-dessus. La lampe prit alors l'aspect figuré ci-contre. La baguette est attachée en haut à un porte-charbon formé d'une tige métallique carrée s'engageant dans le pied de la lampe, et tendant à descendre par son propre poids. La roue en charbon est portée par une petite bascule isolée faisant frein de l'autre bout contre le porte-charbon moteur, de sorte que la pression de la pointe sur le disque règle elle-même l'action motrice. Près de son extré-

(1) Brevetée le 19 février, la lampe Reynier fut présentée à l'Académie des sciences le 13 mai et M. Reynier faisait fonctionner, quelques jours après, à la Société de physique, cinq de ses lampes, dont quatre alimentées par 36 éléments Bunsen et la cinquième par une petite machine Gramme.

mité inférieure, la baguette est saisie entre un galet en cuivre et un contact en



FIG. 135. — Lampe Reynier (modèle 1878).

charbon relié métalliquement au pôle positif de la pile. Une borne et un fil isolés rattachent la roue en charbon au pôle négatif. La partie incandescente est

ainsi très courte ; elle varie de 3 à 8 millimètres, suivant la grosseur du charbon et l'intensité du courant ; d'après l'ensemble de ces conditions, la lumière de la lampe peut égaler de 4 à 30 carcels.

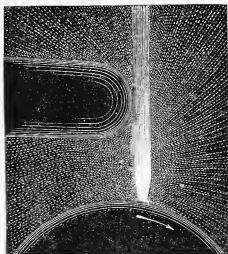


FIG. 136. — Image agrandie de la partie incandescente de la baguette de charbon d'une lampe Reynier.

Le maximum de chaleur et de lumière se produit à l'extrémité inférieure de la baguette, qui s'amincit en pointe et présente avec le disque un *contact imparfait*, caractéristique de ce mode d'appareils.

L'emploi d'un disque mobile pour le contact en bout n'était commandé que par la mauvaise qualité des charbons à l'époque où la lampe fut construite. Plus tard, avec des charbons meilleurs, M. Reynier put laisser le bloc inférieur fixe et même, vu son peu d'échauffement, le prendre métallique. Il le fixa alors à un cylindre entrant à mouvement de baïonnette dans une douille ménagée en bas du bec. Pour introduire la baguette (1), on enlève ce cylindre, on la pousse dans le tube destiné à la recevoir et contenant le poids moteur qui pèsera directement sur elle. Le contact latéral, porté par la branche métallique qui soutient la douille inférieure, s'appuie contre la baguette un peu au-dessous du point où celle-ci sort du tube. Ce modèle simple fonctionne très régulièrement ; et, avec huit éléments plats de Rumhkorff, on peut aisément en obtenir une lumière d'environ quatre carcels.

La figure 137 montre la lampe, avec globe, disposée pour être suspendue au plafond. Dans le cas où l'appareil devra être placé horizontalement, le poids moteur se remplace par un ressort qui pousse le charbon mobile contre le bloc fixe.

(1) La baguette ordinairement employée a un diamètre de 2 millimètres $\frac{1}{2}$ et une longueur de 1 mètre ; elle dure moyennement six heures.

Les lampes Reynier se montent ordinairement les unes à la suite des autres

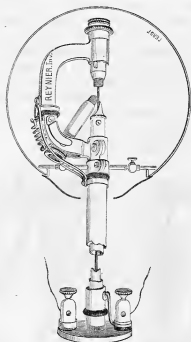


FIG. 137. — Lampe Reynier (modèle 1879).

sur un seul circuit; mais alors, si l'une d'elles vient à s'éteindre, toutes les

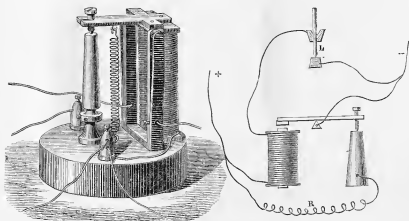


FIG. 138 et 139. — Allumeur Reynier : perspective et coupe schématique.

autres s'éteindront aussi. Pour obvier à cet inconvénient, M. Reynier munit

chaque lampe d'un relais ou *allumeur*. En arrivant à la lampe, le courant se partage en deux branches contenant, l'une la lampe L, l'autre une résistance équivalente en maillechort R : sur la première branche est placé l'électro-aimant de l'allumeur. Quand la lampe fonctionne normalement, cet électro-aimant est magnétisé, son contact attiré, la dérivation R ne reçoit rien. Si, par usure ou par rupture de la baguette, le courant est rompu en L, l'électro-aimant devient inactif, le levier bascule, la dérivation se ferme et le courant passe en R, pour quitter ce chemin quand la lampe se rallumera. Au lieu de mettre en R une résistance dont le seul office est de conserver aux autres foyers le courant dans les mêmes conditions, on peut y disposer une lampe que le relais allumera dès que la lumière L s'éteindra (1).

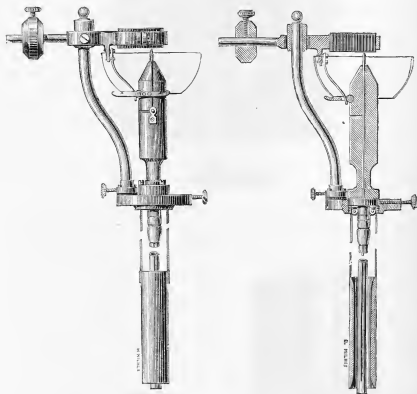


FIG. 140 et 141. — Lampe Werdermann : perspective et coupe verticale.

A la fin de 1878, M. Werdermann prit à Londres un brevet pour un appareil qui n'est autre chose que la lampe Reynier renversée, de façon à éviter l'ombre projetée par le bloc inférieur. La baguette de charbon tirée de bas en haut par

(1) M. Reynier emploie à cet effet une petite lampe de secours (type Archereau) pouvant fonctionner le temps nécessaire pour remettre en état la lampe, sans que l'éclairage soit interrompu.

deux cordons repliés et attachés au poids moteur, appuyé contre un disque de charbon, qui peut osciller légèrement autour d'un axe horizontal fixé à la partie supérieure d'un support vertical. Une languette, reliée métalliquement au disque, presse par un bouton isolant la mâchoire mobile d'une sorte d'étau constituant le contact latéral; la progression de la baguette est ainsi réglée automatiquement, comme dans la lampe Reynier, par la pression qu'elle exerce elle-même sur le disque. Si, usée ou rompue, la baguette cesse de soutenir le disque, celui-ci bascule, et la languette vient toucher un arrêt métallique relié au corps de la lampe; les autres lampes, montées en dérivation, continuent à brûler.

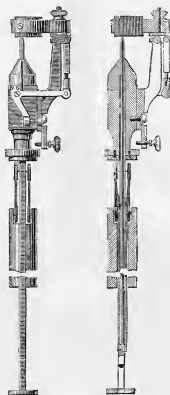


FIG. 142 et 143. — Lampe Werdermann : dispositif Napoli (ancien modèle).

Bien accueillis à Londres, où l'installation au musée de Kensington plut surtout par la fixité de la lumière, ces appareils ne tardèrent pas à franchir le détroit. Les figures 142 et 143 montrent la disposition d'abord donnée en France aux lampes Werdermann par M. Napoli : les principales modifications consistaient dans le monflage du poids moteur et dans l'emploi d'un levier coudé pour transformer la pression de la pointe contre le disque en une action de frein sur le contact latéral du charbon ascendant.

Les nouveaux modèles se rapprochent beaucoup plus du type Reynier. On voit ci-dessous une lampe construite en dernier lieu par M. Napoli : le contact en bout B est revenu à la partie inférieure ; la largeur des mâchoires *m* et *m'* a été réduite de façon à assurer toujours l'introduction du courant malgré l'usure des pièces. L'une des mâchoires *m'* est fixe, ou du moins elle ne doit être rajustée que de loin en loin ; l'autre *m* est constamment pressée par le poids P. Le poids

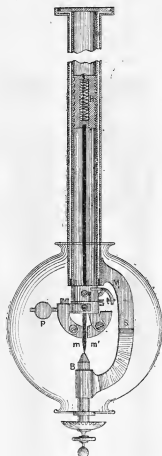


FIG. 144. — Lampe Napoli (nouveau modèle).

moteur H, placé au-dessus du charbon, agit par l'intermédiaire d'un ressort, qui amortit les chocs ; la surface même du poids porte des rainures comme le piston de la machine pneumatique de Deleuil.

Il n'était pas facile de grouper en lustres élégants et gracieux ces lampes à queue longue et raide ; on y a cependant réussi.

La figure 146 montre un grand lustre à seize foyers, qui fut suspendu au milieu de la voûte du foyer des abonnés de l'Opéra, lors des essais d'éclairage électrique effectués à ce théâtre.

La Compagnie générale d'éclairage électrique avait installé à l'Exposition trois spécimens très heureux d'éclairage par incandescence à l'air : l'éclairage du salon du Président de la République au moyen de huit lampes Reynier (modèle suspendu 1879), l'éclairage du théâtre avec mécanisme servant à baisser graduellement la lumière, et enfin l'éclairage de la salle à manger par le système Werdermann (dispositif Napoli).

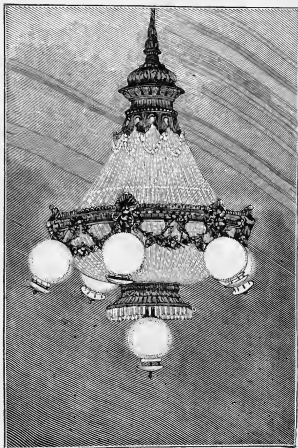


FIG. 145. — Lustre Reynier-Werdermann.

Au type Reynier se rattachent encore les appareils Joël, qui avaient été placés par M. Fyfe dans la petite salle précédant la bibliothèque.

M. Trouvé et M. Ducretet ont construit des lampes du même genre, caractérisées, l'une par l'emploi d'une baguette très fine qu'un contrepoids appuie obliquement sur un cylindre massif en cuivre placé à la partie supérieure de l'appareil, l'autre par le mode de soulèvement de la baguette soumise à la poussée du mercure dans lequel elle plonge.



FIG. 146. — Lustre Werdermann au foyer des abonnés à l'Opéra.

2° Lampes à incandescence dans le vide.

54. Incandescence dans le vide. — Les lampes à incandescence dans le vide furent l'un des grands succès de l'Exposition internationale de 1881. Rien de plus simple, de plus agréable à l'œil ne saurait être inventé en fait de lumière électrique.

Un fil de charbon placé dans le vide et rendu incandescent par le passage du courant, voilà toute la lampe à incandescence.

A l'Exposition figuraient quatre systèmes, qui ne se distinguent les uns des autres que par des détails peu importants : le système Edison, le système Swan, le système Maxim et le système Lane-Fox. Les différences ont trait principalement à la matière avec laquelle est fabriqué le charbon qui doit constituer le fil incandescent ; remarquons toutefois que c'est toujours une substance siliceuse : fibre de bambou, coton additionné de certains produits, papier, fibre de chiendent, suivant les systèmes. La forme du fil varie également un peu dans ces diverses lampes. Différente aussi est la manière de faire le vide ; mais dans tous les cas, que le vide soit fait sur l'air (Edison, Swan, Lane-Fox), ou sur un gaz hydro-carburé (Maxim), il doit être poussé à un degré extrême, le fil étant porté à l'incandescence pendant les derniers instants de l'opération.

55. Système Edison. — Dans la lampe Edison, le charbon est fait avec du bambou. On employa d'abord du papier, ou plus exactement une sorte de bristol, carbonisé. Mais la discontinuité de la matière amenait la production d'une infinité de petits arcs voltaïques, qui dénaturaient la lumière et désagrégeaient assez vite le charbon. On eut donc recours aux fibres naturelles, et parmi celles-ci, après avoir essayé toutes les plantes possibles, on s'arrêta aux fibres d'une espèce de bambou très abondante au Japon. Ce végétal, divisé en filaments de la dimension voulue, est carbonisé par des procédés spéciaux ; on obtient ainsi un produit homogène et flexible, que l'on introduit dans une ampoule en verre, où on le fixe au moyen de fils de platine, réunis eux-mêmes par du cuivre déposé galvaniquement aux extrémités un peu élargies du charbon. Ces fils de platine sont scellés à la base de l'ampoule, où le vide est ensuite fait avec un aspirateur Sprengel, modifié de façon à réduire en dix-huit minutes la pression à $1/1\ 000\ 000$ d'atmosphère ; le fil est graduellement amené à l'incandescence ; puis la lampe est fermée ; elle est désormais prête à fonctionner.

La forme extérieure de la lampe a été plusieurs fois modifiée. Le type actuellement le plus répandu offre l'aspect d'une petite poire contenant un fil en forme de fer à cheval de 12 centimètres de longueur, large de 0^{mm},35, et épais de 0^{mm},2 seulement ; la résistance d'un tel fil porté à une incandescence correspondant à 16 candles est d'environ 125 ohms.

Cette forte résistance jointe à ce fait qu'un courant faible suffit pour produire l'incandescence, permet de monter toutes les lampes en dérivation, ce qui assure leur indépendance. Les demi-lampes, dans lesquelles le charbon a une longueur

sensiblement moitié et qui donnent normalement 8 candles (un peu moins de 1 carcel) se réunissent par deux en série, sur un même fil.

D'après ce mode de distribution, la résistance totale du circuit extérieur est très



FIG. 147. — Lampe Edison : type de seize *candles*.

faible. Il a donc fallu rendre la machine génératrice également très peu résistante. On y est parvenu : 1° en plaçant en dérivation les électro-aimants induc-

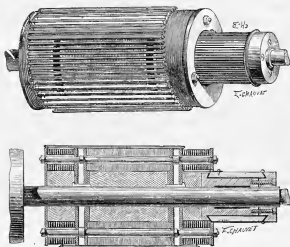


FIG. 148 et 149. — Bobine de la machine Edison : perspective et coupe.

teurs d'après la méthode de Wheaststone (6) ; 2° en donnant à la bobine, qui est du type Siemens, une disposition spéciale : le fil induit est remplacé par un système de tiges, rangées suivant les génératrices du cylindre et réunies à leurs extrémités au moyen de disques isolés qui sont placés aux deux bouts de la

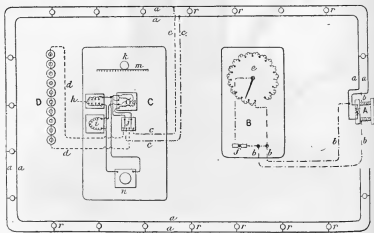
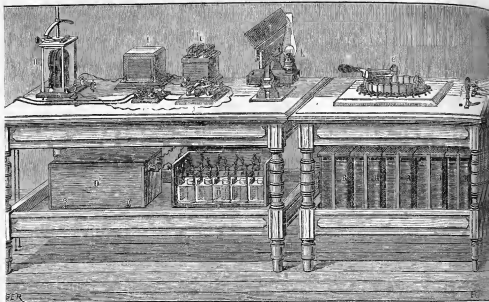


FIG. 151 et 152. — Appareil régulateur du courant envoyé aux lampes Edison : perspective et plan.

LÉGENDE.

- A machine dynamo-électrique.
- B table du système régulateur.
- C table du système galvanométrique.
- D batterie étalon de 110 volts.
- aa circuit des lampes.
- bb circuit du régulateur.
- cc circuit des épreuves galvanométriques.
- dd circuit de la batterie étalon.
- e régulateur de résistance.

- f interrupteur.
- g inverseur.
- h shunt à résistance variable.
- i résistance de 50 000 ohms.
- j commutateur à 4 contacts.
- k lampe du galvanomètre.
- m son échelle divisée.
- n galvanomètre Thomson.

Moncel (1), ainsi d'ailleurs que la plupart des figures ci-jointes, permettent de se rendre un compte exact du système.



FIG. 153. — Lampe Edison montée à la façon d'une lampe ordinaire.

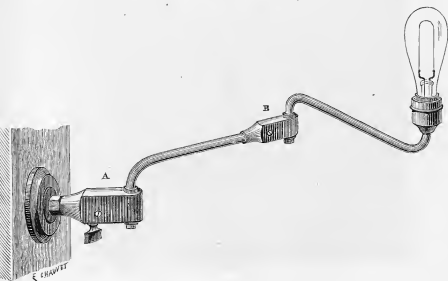


FIG. 154. — Lampe Edison montée à l'extrémité d'un bras articulé s'appliquant contre le mur.

(1) Du Moncel, *Les lampes électriques à incandescence dans la Lumière électrique* du 1^{er} octobre 1881

Les appareils Edison se prêtent à toutes les dispositions usitées avec les becs de gaz ou les lampes à huile. On peut les placer sur un pied semblable à celui

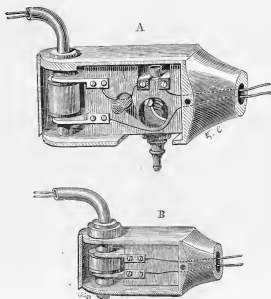


FIG. 155 et 156. — Articulation et robinet du bras portant une lampe Edison.

d'une lampe ordinaire. On peut les adapter à un bras articulé s'appliquant contre le mur : les figures 155 et 156 montrent comment aux articulations les commu-

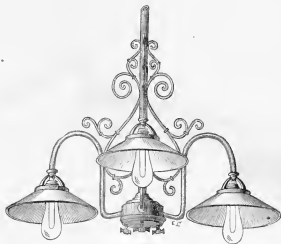


FIG. 157. — Petit lustre à trois lampes Edison.

nications s'effectuent par deux ressorts pressant sur deux platines isolées ; en A on voit le robinet à vis servant à allumer ou à éteindre la lampe par le mouve-

ment d'un bouchon conique compris entre deux plaques métalliques, ainsi que le fil de plomb (*cutt-off*) situé entre l'une de ces plaques et le ressort supé-

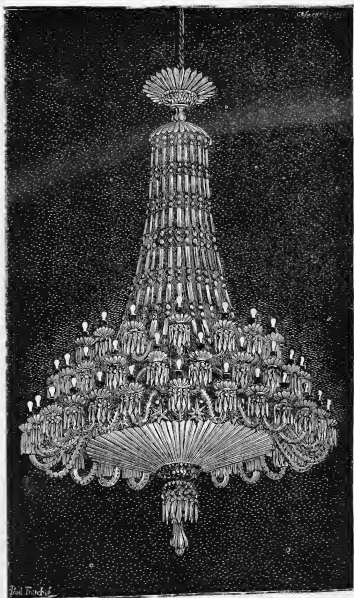


FIG. 158. — Grand lustre Edison

rieur pour préserver la lampe si l'intensité du courant devient accidentellement trop forte : ce fil fond alors et la communication est rompue. La disposition

choisie de préférence par Edison consiste à placer les lampes un peu haut et à rabattre la lumière au moyen de réflecteurs : la figure 157 représente un petit lustre construit d'après ce principe, chaque lumière étant munie d'un robinet

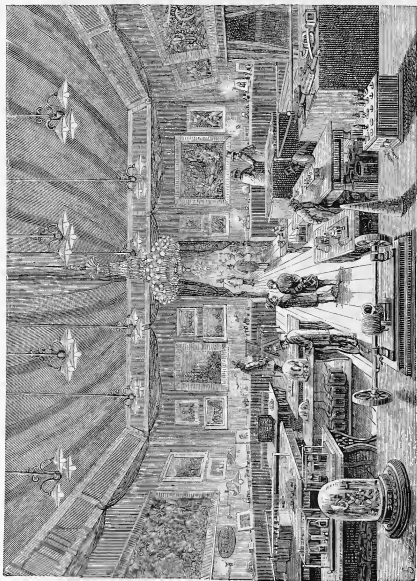


Fig. 159. — 1^{re} salle de l'exposition d'Edison.

semblable à celui du bras applique. Les lampes à incandescence se prêtent également très bien au groupement en grands lustres, comme le montre la figure '5'.

Les figures 159 et 160, qui reproduisent les deux salles de l'exposition

d'Edison, font voir les différents modes d'emploi de la lumière par incandescence.

Dans une vitrine spéciale étaient exposés divers modèles de lampes permettant

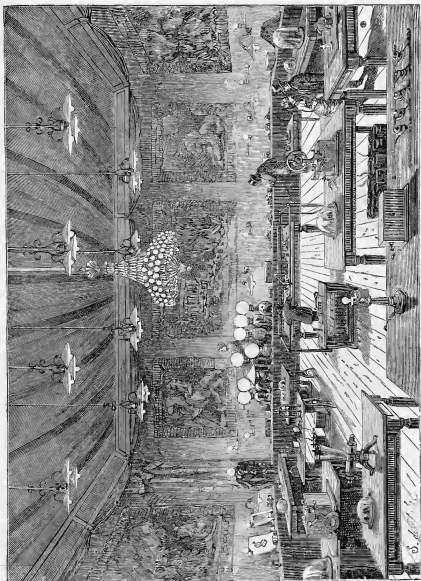


FIG 160. — 2^e salle de l'exposition d'Edison.

d'obtenir dans une seule ampoule plus de lumière, soit par la réunion en quantité de deux ou de quatre fers à cheval parallèles, soit par le montage en tension de deux fers à cheval perpendiculaires, soit par la disposition du fil en

hélice, certainement préférable au fer à cheval, soit enfin par l'emploi d'un fil plus gros, susceptible de supporter un courant plus intense sans se rompre.

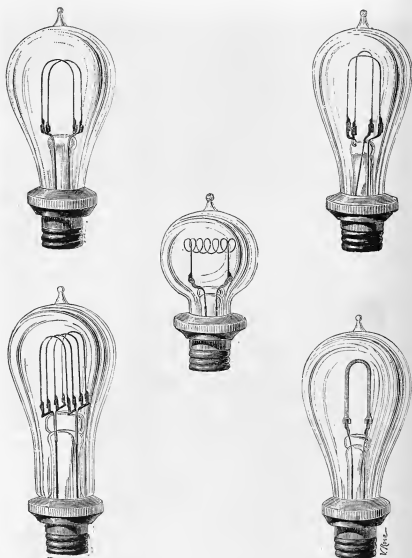


FIG. 161, 162, 163, 164 et 165. — Différents modèles de lampes Edison.

Si au contraire on désire moins de lumière, un rhéostat à charbon, placé sur le pied de la lampe, permet de graduer à volonté l'intensité lumineuse.

Le but que s'est proposé principalement Edison est d'établir de toutes pièces un système d'éclairage aussi complet que l'est aujourd'hui l'éclairage par le

gaz. Tout a été prévu et étudié avec un soin et une ingéniosité extrêmes. La conduite principale est constituée par un double fil de cuivre partant de l'usine

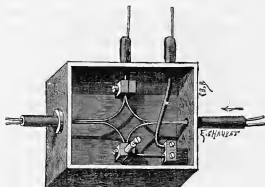


FIG. 166. — Branchement sur la conduite principale d'électricité dans le système Edison.

centrale : chacun des fils a une section demi-circulaire, et les deux fils respec-

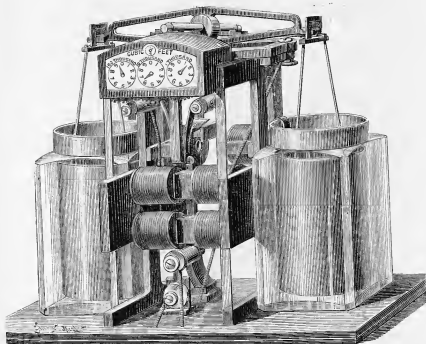


FIG. 167. — Compteur d'électricité : système Edison.

tivement isolés sont logés l'un en face de l'autre dans une enveloppe isolante. Pour faire un branchement, on coupe le double fil en face de la maison à

éclairer, et on installe en ce point une boîte de dérivation contenant un *cutt-off*.

Une fois livrée au consommateur, l'électricité doit lui être comptée suivant la dépense qu'il en fera. A cet effet, un compteur est installé chez l'abonné sur une dérivation livrant passage à une fraction très faible, mais constante de l'électricité qu'il reçoit. Aux deux extrémités du fléau d'une balance, attachons deux lames de cuivre plongeant chacune dans un bocal qui contient une dissolution de sulfate de cuivre. Le courant dérivé traversant le système, l'une des lames se dissout, tandis que l'autre se recouvre de cuivre. Quand une quantité déterminée d'électricité aura passé, la différence de poids des deux lames fera chavirer le fléau. Si, en même temps, ce mouvement de bascule intervertit les contacts, l'action du courant produira sur chaque lame un effet inverse de celui qu'elle avait tout à l'heure : la lame surchargée se dissoudra, tandis que la lame amincie s'épaissira, jusqu'à ce que, la même différence de poids s'étant établie en sens inverse, le fléau bascule de nouveau. Il suffira d'adapter à l'appareil un mécanisme comptant ces mouvements de bascule pour connaître la quantité d'électricité consommée, ou mieux, comme l'a fait Edison qui vend son électricité au prix du gaz qu'elle remplace, on fera marquer à l'appareil le nombre de pieds cubes de gaz qu'on eût consommés pour obtenir la même quantité de lumière.

56. Système Swan. — La lampe Swan est constituée par un fil de coton carburé, plié en forme de boucle arrondie et enfermé dans une ampoule vide d'air.

Le fil de coton, parcheminé par immersion dans l'acide sulfurique, est roulé



FIG. 168. — Lampe Swan

dans de la poudre de charbon, et chauffé en vase clos jusqu'au rouge blanc. Ce fil est alors courbé, puis saisi par ses extrémités élargies dans deux portecrayons ; le tout est introduit dans une ampoule, que l'on scelle à la base en lais-

sant seulement sortir deux fils de platine soudés aux porte-charbons. Le vide est fait dans l'ampoule, le fil étant porté à l'incandescence; et quand, par cette

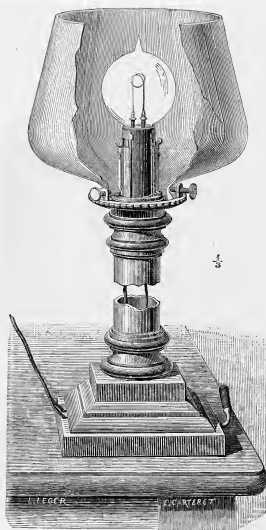


FIG. 169. — Lampe Swan sur son chandelier.

opération, le charbon a pris la dureté et la densité convenables (ce qui demande environ une demi-heure) (1), on ferme l'ampoule. La lampe est mastiquée dans une garniture métallique, qui permet de la fixer sur un support de forme quelconque. La figure 169 montre la lampe posée sur un chandelier muni d'un

(1) La résistance du fil ainsi obtenu varie à chaud de 25 à 50 ohms.

globe, et la figure 170, représentant le dessous de ce chandelier, rend compte des communications électriques à l'intérieur de l'appareil. La disposition adoptée pour l'éclairage des mines est indiquée figure 171.

Au Palais de l'Industrie, les lampes Swan éclairaient la salle du Congrès, le petit buffet, le pavillon du *Post-Office*, l'exposition de la Compagnie *Force et Lumière* et une partie de l'exposition de M. de Méritens. Les lampes de la salle du Congrès, disposées en guirlandes et en petits lustres d'un assez médiocre effet, étaient alimentées par des machines Brush. Au petit buffet, dont l'éclairage était au contraire très réussi, et où l'on remarquait en particulier un lustre très bien

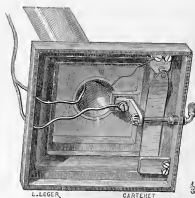


FIG. 170. — Dessous du chandelier Swan.

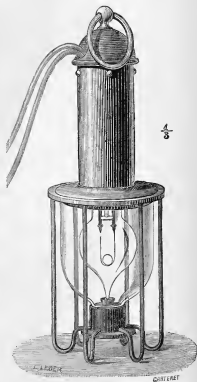


FIG. 171. — Lampe Swan pour mineur.

compris, c'étaient les machines Siemens qui fournissaient le courant. La Société *Force et Lumière* employait des accumulateurs Faure, et M. de Méritens ses propres machines. L'arrangement différait nécessairement suivant les cas : avec les machines Brush, les lampes étaient installées sur 16 circuits parallèles servant chacun 10 lampes en tension ; avec les machines à gros fil, les lampes étaient montées toutes en dérivation ; avec la machine de Méritens, qui se prête bien à cette application et semble assurer une durée plus longue aux lampes (que les courants continus coupent facilement au pôle positif), le meilleur arrangement consistait à partager le courant en 5 circuits égaux, fournissant respectivement

12 dérivations, sur chacune desquelles étaient placées 4 lampes. La nature de la machine doit toujours servir de guide pour la manière de monter les lampes.



FIG. 172. — Grand lustre Swan.

Depuis l'Exposition, les lampes Swan ont été appliquées à l'éclairage de Savoy-

Theatre, à Londres. La forme des appareils employés est représentée figures 173 et 174 : l'enveloppe, complètement en verre, offre simplement deux petits

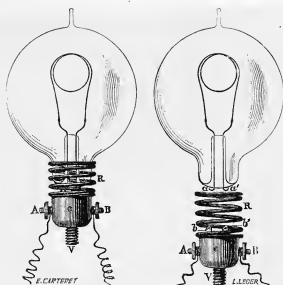


FIG. 173 et 174. — Lampe Swan : nouvelle forme.

crochets de platine a, a' , qui s'attachent aux extrémités b, b' de deux fils métal-

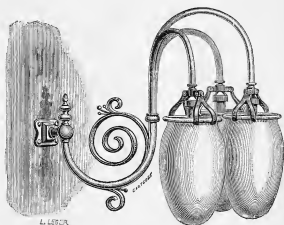


FIG. 175. — Lampe Swan montée en applique à Savoy-Theatre.

lique; traversant le support en ébonite c et terminés aux bornes A et B : un ressort R assure le contact et maintient solidement la lampe, que l'on peut visser sur un support à gaz quelconque. La figure 175 montre le système d'appliques

employé à Savoy-Theatre : chaque ampoule est enfermée dans un globe en verre dépoli donnant une lumière plus douce et très agréable. Les lampes sont montées en dérivation sur 6 circuits, comprenant chacun 200 lampes et servis par 6 machines Siemens du type W.1 à courants alternatifs. L'intensité du courant est réglée, suivant la lumière à obtenir, par l'addition de résistances dans le circuit de la machine excitatrice, disposition assez analogue en principe à celle que nous avons signalée à propos des lampes Edison.

57. Système Lane-Fox. — Dans la lampe Lane-Fox le fil incandescent est une fibre de chiendent en forme d'U, contenue dans une atmosphère raréfiée au $\frac{1}{1\ 000\ 000}$. Le vide est fait sur l'air avec une pompe à mercure analogue à la pompe Alvergnyat : on a soin, comme toujours, de faire passer le courant pendant les derniers

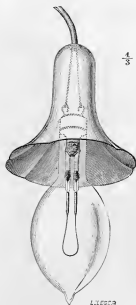


FIG. 176. — Lampe Lane-Fox.

instants de la manœuvre qui ne demande en tout qu'une douzaine de coups de pompe. A chacune de ses extrémités, la fibre de chiendent est soudée avec de l'encre de Chine à une petite baguette de charbon continuée elle-même par un fil de platine plongeant dans le mercure. Ce mercure, contenu dans un petit tube de verre fermé en haut par un tampon de coton (pour permettre au mercure de se dilater librement), reçoit d'autre part l'extrémité du fil de cuivre par où pénètre le courant. Un bouchon de verre, scellé au plâtre, ferme inférieurement le ballon, tout en laissant sortir le bout des fils de cuivre destinés à amener le courant dans le charbon. Chaque lampe possède à froid une résistance de 60 à 100 ohms. A chaud, la résistance se réduit environ de moitié. M. Lane-Fox

dépolit ordinairement la partie inférieure du verre de ses lampes, qu'il recouvre d'un petit abat-jour en cuivre, formant réflecteur. D'ailleurs ces dispositions secondaires peuvent être modifiées selon les besoins de l'éclairage. A l'Exposition, les lampes Lane-Fox éclairaient le pavillon de la Compagnie Brush : elles étaient montées toutes en dérivation et alimentées par des machines Brush. Un régulateur d'intensité, actionné par un relais placé en dérivation, agissait sur la résistance du circuit de façon à maintenir l'intensité convenable.

58. Système Maxim. — Le charbon de la lampe Maxim est une étroite bandelette de carton bristol, préalablement roussi entre deux plaques de fonte. Cette bandelette, découpée en forme d'M, est introduite dans une enceinte contenant un gaz hydro-carburé ; le vide est fait sur ce gaz, en même temps que le passage du courant achève de carboniser le carton. On obtient ainsi un

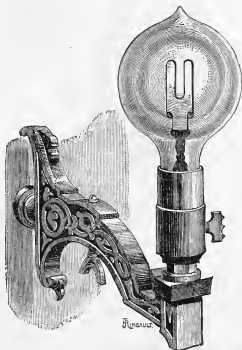


FIG. 177. — Lampe Maxim.

charbon, que sa forme aplatie permet de boulonner facilement sur les fils métalliques qui servent à amener le courant (1). Sa résistance à chaud est de 40 à 50 ohms. Il peut supporter une température plus élevée que le charbon des autres lampes à incandescence, ce qui est d'ailleurs un avantage médiocre, les appareils de cette nature étant particulièrement destinés à donner des foyers divisés peu intenses.

(1) Ces fils sont noyés dans une sorte d'émail bleuâtre fermant la lampe à la partie inférieure.

Les lampes Maxim éclairaient à l'Exposition la salle d'honneur (salle C). Elles étaient alimentées par une machine à courant continu, type Gramme à anneau allongé avec inducteurs de la forme Siemens. Ces inducteurs étaient

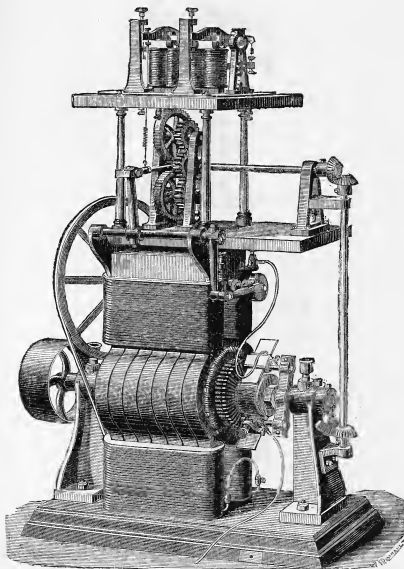


FIG. 178. — Excitatrice Maxim avec son régulateur vu de profil.

excités par une deuxième machine toute semblable, munie d'un régulateur dont le rôle est de faire tourner les balais autour du collecteur, de façon à les rapprocher ou à les éloigner de la ligne neutre. A cet effet, le courant de la machine à

lumière, avant de se rendre aux lampes, montées toutes en dérivation, traverse un électro-aimant logé à la partie supérieure du bâtis de l'excitatrice. Au-dessus

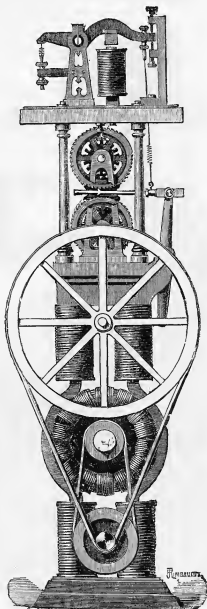


FIG. 179. — Excitatrice Maxim avec son régulateur vu de face.

de cet électro-aimant est un contact en fer doux, dont les mouvements sont transmis par un fil élastique à un levier horizontal portant deux dents placées

entre deux roues dentées. Ce levier horizontal est articulé à une bielle, attachée elle-même à une manivelle dont l'arbre est réuni à celui de l'excitatrice par un système de transmissions réduisant considérablement la vitesse; le levier se meut donc constamment d'un mouvement horizontal alternatif, relativement lent. A l'état normal, il avance et recule librement entre les deux roues, n'entraînant ni l'une ni l'autre. Si, par suite de la suppression de plusieurs lampes ou pour toute autre cause, l'intensité du courant devient trop forte, le contact est attiré, le levier denté s'abaisse et, agissant à la manière d'un cliquet sur la roue inférieure, il la fait avancer d'une dent à chacun de ces mouvements de va-et-vient. Le mouvement de la roue inférieure se transmet à la pièce qui porte les balais et modifie leur calage, en les rapprochant de la ligne neutre, jusqu'à ce que l'intensité du courant soit abaissée à la valeur convenable. Si l'intensité diminue, le levier denté s'élevant engrène avec la roue supérieure : un effet inverse se produit. Ce régulateur est très sensible; il l'est même trop pour remédier promptement à une forte variation, comme celle que produirait l'extinction simultanée d'un certain nombre de foyers. Mais un deuxième électro-aimant, placé dans le même circuit que le premier, intervient alors, met l'excitatrice en court circuit, et sauve les lampes restantes en éteignant momentanément tout remède un peu radical (1).

(1) *Lampe Nothomb.* — La lampe Muller-Nothomb, dont on a beaucoup parlé dans ces derniers temps en Belgique, a été imaginée par M. Muller; elle consistait d'abord en une plaque de



FIG. 180. — Charbon de la lampe Muller type original.

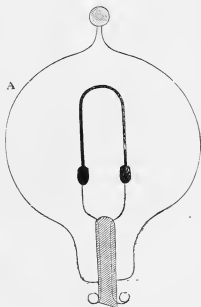


FIG. 181. — Lampe Muller-Nothomb : type actuel.

parchevin carbonisé ayant la forme indiquée ci-dessus, et placée dans une atmosphère d'azote; ensuite M. Nothomb, se rapprochant de la lampe Edison ou Lane-Fox, a donné au charbon la

59. Résultats des expériences faites à l'Exposition d'électricité sur les lampes à incandescence. — Les lampes à incandescence ont été étudiées à l'Exposition par la Commission d'expériences et par une sous-commission spéciale; le tableau suivant, extrait du travail présenté par la Commission à l'Académie des sciences, offre en regard les résultats des deux séries de mesures.

	Lampe Maxim.		Lampe Edison.		
	Commis- sion.	S.-com- mission.	Commis- sion.	S.-com- mission.	
Résistance d'une lampe.....	43	41	130	137	ohms.
Différence de potentiel aux deux bornes de la lampe.....	75	57	91	90	volts.
Intensité du courant par lampe..	1,74	1,38	0,70	0,65	ampères.
Travail d'une lampe.....	13,28	7,94	6,50	5,91	kilogram.
Intensité moyenne sphérique...	2,80	1,25	1,57	1,36	carcels.
Carcels par cheval d'arc.....	15,89	12,42	18,12	15,29	—

	Lampe Lane-Fox.		Lampe Swan.		
	Commis- sion.	S.-com- mission.	Commis- sion.	S.-com- mission.	
Résistance d'une lampe.....	28	27	31	33	(1) ohms.
Différence de potentiel aux deux bornes de la lampe.....	50	44	48	47	51 volts.
Intensité du courant par lampe.	1,77	1,59	1,55	1,47	1,76 ampères.
Travail d'une lampe.....	8,95	7,09	7,62	7,06	9,67 kilogram.
Intensité moyenne sphérique...	1,64	1,16	2,19	1,16	2,32 carcels.
Carcels par cheval d'arc.....	13,74	12,61	21,55	12,92	22,22 —

« On remarquera combien les chiffres se rapprochent les uns des autres. Cette concordance paraîtra encore plus manifeste si l'on fait ressortir que l'effet utile devient de plus en plus favorable à mesure que l'on tend à produire une plus grande intensité photométrique. On en jugera surtout par les trois colonnes relatives à la lampe Swan, qui passe, pour une intensité double, de 13 à 22 carcels par cheval d'arc. D'une manière générale et pour l'intensité moyenne sphérique de 1,20 carcels, qui est tout à fait pratique (2), on ne peut compter que sur un éclairage effectif de 12 à 13 carcels par cheval d'arc, ou environ 10 carcels par cheval de travail mécanique, au moyen des lampes à incandescence. »

forme d'un fer à cheval, mais aplati perpendiculairement au plan des attaches en platine; il a d'ailleurs conservé le parchemin comme matière première, et a gardé aussi l'atmosphère inerte de gaz azote. Dans un essai d'éclairage électrique tenté récemment à la Bibliothèque royale de Bruxelles, douze lampes Muller-Nothomb ont été réunies en tension sur un seul circuit alimenté par une machine Cramme à courants alternatifs, qui servait en même temps quatre lampes-soleil : l'ensemble a paru satisfaisant.

(1) Les chiffres de cette colonne proviennent des expériences faites par la Commission spéciale sur des lampes dont l'intensité, dans la direction de 45 degrés, avait été portée à trente-deux bougies.

(2) Ces sortes de lampes ne fournissent pas utilement beaucoup plus de deux carcels; et, lorsqu'elles sont surmenées, elles donnent lieu à un développement de vapeurs qui salissent le verre et mettent rapidement l'appareil hors de service.

Les accumulateurs, ou piles secondaires, se prêtent très bien à l'entretien de ces foyers. Dans une expérience prolongée, portant sur douze lampes Maxim, la Commission a obtenu la lumière de 1 carcel avec une dépense de 5^k,80 de travail électrique par 1 seconde. D'ailleurs la pile, formée de trente-cinq éléments Faure, n'avait recueilli que 0,66 du travail mécanique total dépensé, et le travail ainsi emmagasiné n'a été lui-même récupéré dans ses effets extérieurs que jusqu'à concurrence de 60 pour 100. « Il n'est que juste toutefois d'ajouter qu'en bien des circonstances cette perte se trouverait utilement rachetée par l'avantage que l'on pourrait avoir à conserver sous la main et entièrement à sa disposition une source aussi abondante d'électricité. La pile constitue en outre un régulateur puissant, dont l'action suffirait au besoin pour suppléer pendant un temps assez long à l'arrêt même de la machine motrice. »

3° Lampe-soleil.

60. Premiers essais d'éclairage par l'incandescence de corps mauvais conducteurs. — En 1868, M. Le Roux (1) entreprit sur la concentration de la lumière de l'arc par un cylindre de magnésie quelques recherches qui l'amènèrent à conclure que « l'arc voltaïque, éclatant entre des crayons de charbon pur au sein d'une cavité de magnésie ou d'un autre oxyde terreux, serait certainement une des plus belles sources de lumière qu'il soit possible de réaliser ».

Quelques années plus tard, M. Jablochhoff (2) fit une expérience charmante, en plaçant une plaque de kaolin entre les deux pôles d'une bobine de Ruhmkorff (moyen modèle). L'arête supérieure du morceau de kaolin, légèrement amincie, était saisie entre deux petits becs en fer, rattachés aux pôles de la bobine. Au moyen d'un crayon de charbon en contact avec l'un des becs et amené à faible distance de l'autre, on provoquait l'étincelle d'abord sur un petit parcours; puis, quand sur ce trajet l'arête, en même temps qu'elle devenait incandescente, avait acquis une conductibilité suffisante, on augmentait un peu la distance; et, faisant ainsi glisser lentement le charbon le long de l'arête, on transformait celle-ci en un ruban de lumière parfaitement fixe et beaucoup plus douce que celle de l'arc, l'intensité dépendant des conditions de l'expérience. Comme on peut placer les uns à la suite des autres sur un même circuit les fils inducteurs d'une série de bobines de Ruhmkorff (3) et provoquer sur chaque fil induit l'incandescence d'une lame de kaolin, on a ainsi le moyen de diviser la lumière en un nombre quelconque de foyers indépendants, de telle puissance que l'on voudra.

61. Lampe-soleil. — En 1880, M. Clerc, ingénieur de la Compagnie Jablochhoff, associé à M. Bureau, ingénieur des ateliers Carels à Gand, con-

(1) Le Roux, *Comptes rendus*, LXVI, 837, 1868.

(2) Jablochhoff, *Comptes rendus*, LXXXIV, 750, 1877.

(3) Pour alimenter le circuit inducteur, il est avantageux d'employer un générateur à courants alternatifs; on supprime alors dans chaque bobine l'interrupteur et le condensateur.

struisit la *lampe-soleil*, véritable Drummond électrique où la chaux est portée à l'incandescence par l'arc voltaïque. Cet arc, qui peut alors avoir jusqu'à 8 centimètres de longueur, s'établit entre deux baguettes de charbon logées dans un massif isolant qui les préserve presque complètement du contact de l'air, et en retarde ainsi notablement l'usure. La nature des charbons est d'ailleurs à peu près indifférente. Les baguettes assez grosses, demi-cylindriques, descendent par leur propre poids dans deux trous légèrement inclinés sur la verticale; entre

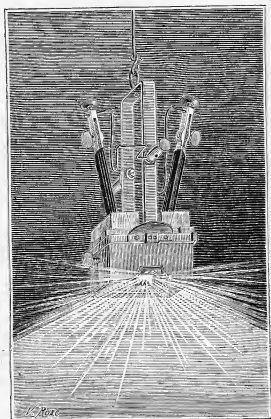


FIG. 182. — Lampe-soleil.

elles se trouve un bloc de marbre, ou de magnésie comprimée, que l'arc lèche par sa face interne. Le système est entouré de pièces réfractaires formant un parallélépipède qu'enserme une boîte de fonte, largement ouverte dans la région d'où émane la lumière; une anse métallique soutient la boîte et porte deux bornes isolées, reliées par des fils flexibles aux pinces qui saisissent en haut les baguettes. Au début, une sorte d'amorce en plombagine réunit les extrémités inférieures des baguettes et par sa combustion allume la lampe: un large faisceau de lumière, dorée comme celle du soleil et remarquablement fixe, jaillit

de la chaux incandescente et se maintient pendant de longues heures avec une intensité lentement décroissante (1).

La lampe peut marcher avec des courants continus ou avec des courants alternatifs, mais de préférence avec ces derniers, l'usure des deux charbons et l'élargissement des deux trous qui leur livrent passage étant alors les mêmes des deux côtés. Les inventeurs se servent de la machine Lachaussée-Lambotte,

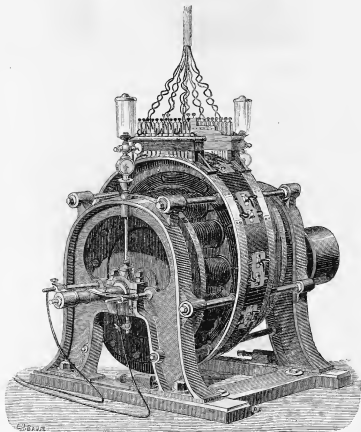


FIG. 183. — Machine Lachaussée-Lambotte.

sorte de machine Siemens W à induit fixe : chaque cadre galvanométrique F, de forme oblongue et muni à l'intérieur de quelques lames de fer L, est maintenu du côté du centre par deux plateaux de bois, entre lesquels il s'engage jusqu'au noyau ; de l'autre côté, le cadre est fixé à une pièce en bois P, portant deux bornes en cuivre, auxquelles s'attachent d'une part les deux bouts A, A' du

(1) Pendant la première demi-heure seulement l'intensité, très forte au début, diminue assez rapidement.

fil de la bobine, et d'autre part deux fils B, B', qui se rendent au distributeur placé à la partie supérieure de la machine.

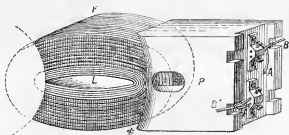


FIG. 184 — Détail d'une bobine induite de la machine Lachaussee-Lambotte.



FIG. 185. — Lampe Soleil dans son globe.

L'emploi des courants alternatifs amène un ronflement désagréable (1), que

(1) Dans l'installation ordinaire de la lampe-soleil, ce ronflement est probablement encore augmenté par la transmission téléphonique du bruit assez intense que fait la machine Lachaussee-Lambotte.

les inventeurs ont cherché à étouffer en enfermant la lampe dans une enveloppe terminée en bas par un globe dépoli.

Bien que la lampe-soleil présente une résistance remarquable aux variations du courant, une extinction est possible. Comme l'appareil ne peut pas se rallumer de lui-même, on a placé deux lampes dans chaque lanterne: en cas d'extinction de la première lampe, la deuxième s'allume au moyen d'un commutateur automatique, commandé par un électro-aimant en dérivation.

Outre la couleur spéciale et la fixité de sa lumière, la lampe-soleil se distingue par la facilité de concentrer l'éclairement dans une direction déterminée, la chaux faisant l'office d'un réflecteur auquel on peut donner la forme et la position que l'on veut. Si l'on taille la chaux suivant un dièdre de 90 degrés, la lumière a sensiblement la même intensité dans toutes les directions comprises à l'intérieur du dièdre. Telle était la disposition adoptée dans la galerie de tableaux à l'Exposition: chaque foyer, placé sur un circuit distinct, donnait une intensité de 120 carrels pour une dépense d'environ deux chevaux-vapeur. Au pavillon de la Belgique, les lampes étaient groupées par trois sur un même circuit. Près de la machine Lachaussée-Lambotte se trouvaient encore deux foyers sur un seul circuit.

Avant l'Exposition d'électricité, la lampe-soleil avait déjà fait à Paris une apparition au passage Jouffroy et à l'Hôtel Continental; depuis elle a éclairé d'une façon très satisfaisante les plafonds de Baudry à l'Opéra. A Londres, vingt-quatre lampes-soleil fonctionnent avec succès depuis plus de deux ans au panorama de Westminster.

CHAPITRE V

APPLICATIONS DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

62. Éclairage des chantiers, des rues et des appartements. — L'éclairage électrique convient tout particulièrement aux larges espaces : chantiers, gares de chemins de fer, usines, etc. Aussi n'a-t-on pas hésité à l'y employer dès le début, alors même qu'on n'avait pas d'autres sources d'électricité que les piles.

Depuis la reconstruction du pont Notre-Dame, où on l'a mise en usage pour la première fois, on s'est servi de la lumière électrique dans tous les travaux urgents de quelque importance.

Nous n'essayerons pas d'énumérer les usines et les ateliers où, en France seulement, la lumière électrique fonctionne à l'avantage certain du travail et des ouvriers. Il se présente même ici cette circonstance que dans une grande usine où l'on a toujours un excès de force motrice, on trouve, sans qu'il en coûte rien, les quelques chevaux nécessaires pour s'éclairer électriquement.

A Paris, comme à Londres, comme à Anvers, etc., on a très avantageusement appliqué la lumière électrique à l'éclairage des gares. En ce qui concerne les places et les rues, on s'est au contraire chez nous montré jusqu'à présent fort timide : nous n'en voyons guère de bonne raison.

Dans les magasins, surtout dans les magasins d'étoffes, ainsi que dans les filatures et les teintureries, la lumière électrique s'impose par sa précieuse qualité de conserver aux tissus les couleurs qu'ils ont pendant le jour. L'installation de foyers électriques aux magasins du Louvre est déjà ancienne (47), et ses bons effets ont été si bien reconnus, qu'on n'a pas cessé de l'étendre depuis.

Enfin, dans les appartements, la lumière électrique a déjà commencé à pénétrer, au moins sous forme de lumière par incandescence.

Le choix des appareils dépendra nécessairement des conditions de l'éclairage qu'il s'agit d'obtenir ; on aura soin seulement, si l'on adopte de puissants régulateurs, de les placer assez haut pour qu'ils ne frappent pas directement la vue. Car, bien que la radiation des foyers électriques n'ait sur l'œil aucune action spéciale, il faut éviter de regarder en face les foyers intenses, tout comme on évite de fixer ses yeux sur le soleil.

Quant au rendement, on peut admettre qu'en moyenne un régulateur fournit environ 80, une bougie 30 et une lampe à incandescence 10 carrels par 1 cheval de travail mécanique dépensé. Il est d'ailleurs entendu que, dans chaque système, les foyers les plus intenses sont les plus avantageux au point de vue économique.

63. Éclairage électrique des phares. — L'une des premières et assurément des plus importantes applications de la lumière électrique est son emploi dans les phares.

A la fin du siècle dernier, les phares s'éclairaient encore, comme le fameux monument de l'île de Pharos, par d'énormes brasiers brûlant à leur sommet. A Cordouan, on allumait tous les soirs 225 livres de houille, dont l'incandescence se maintenait jusqu'au jour. En 1782, on remplaça ce foyer par un appareil catoptrique, formé de 80 petits miroirs sphériques éclairés par les flammes fuligineuses de 80 lampes à mèche plate. L'effet fut déplorable; les navigateurs se plaignirent. L'ingénieur Teulère, profitant de l'invention récente des lampes à double courant d'air, proposa d'employer un système tournant de réverbères paraboliques, illuminés chacun par un bec d'Argant. Tandis que Lenoir exécutait la partie optique sous la direction de Borda, Teulère exhaussa avec autant d'habileté que de hardiesse l'ancien édifice de Louis de Foix, et « en 1791 la nouvelle lanterne reçut l'appareil *catoptrique* tournant, composé de 12 grands réverbères paraboliques, uniformément distribués sur les quatre faces d'une armature rectangulaire. Le mouvement avait été réglé à huit minutes par révolution, en sorte que dans tous les azimuts apparaissaient de deux en deux minutes de puissants *éclats*, alternant avec des éclipses totales (1). Ce renouvellement du phare de Cordouan fait époque dans l'éclairage des côtes maritimes. D'une part, en effet, les grands réverbères paraboliques à lampes d'Argant projetaient sur l'horizon des faisceaux de lumière d'une intensité très supérieure à l'éclat des réverbères à mèche plate ou des anciens feux de charbon; et d'un autre côté, l'intermittence (appliquée depuis quelques années déjà au phare de Marstrand, en Suède) écartait toute possibilité de confusion avec d'autres amers nocturnes » (2). Ce système fut bientôt adopté par toutes les puissances maritimes. L'emploi des miroirs avait cependant le grave inconvénient d'entraîner une perte notable de lumière, les réflecteurs métalliques absorbant usuellement moitié de la lumière. Fresnel apporta un perfectionnement considérable aux phares en remplaçant l'appareil catoptrique par un système *dioptrique*, formé de lentilles qui n'absorbent pas un dixième de la lumière incidente. Pour recueillir cette lumière dans un espace angulaire de grande ouverture, et l'envoyer ensuite dans la direction voulue sans absorption et sans aberration appréciables, Fresnel imagina la lentille à échelons, composée d'une pièce centrale de faible ouverture, environnée elle-même d'une série d'anneaux concentriques, dont les surfaces sont calculées de façon à constituer un système sensiblement aplanétique. Au mois d'août 1819, Fresnel soumettait à la Commission des phares l'épure d'une lentille polyzonale, plan-convexe, à profil échelonné, et « le 20 juillet 1823 un appareil dioptrique, muni de 8 grandes lentilles à échelons (3),

(1) Chaque miroir avait 812 millimètres d'ouverture, 325 millimètres de profondeur, et recevait à son foyer un bec de lampe, à double courant d'air et à cheminée de cristal, de 35 millimètres de diamètre. Tout le système tournait autour d'un axe vertical sous l'action d'un mécanisme d'horlogerie. « L'essai de cet appareil catoptrique à éclipses eut lieu à Versailles en 1790, aux applaudissements de la cour et du public. »

(2) Léonor Fresnel dans *Œuvres complètes d'Augustin Fresnel*, III, 13. Paris, 1870.

(3) « Ces lentilles de 76 centimètres en carré, qui embrassent dans les deux sens un angle de 45 degrés, présentent depuis le centre jusqu'au milieu de chaque côté six échelons, y compris la lentille du centre, et dix échelons du centre aux angles, de façon que l'anneau le plus saillant n'a que 37 millimètres dans sa plus grande épaisseur et que le poids de la lentille, y compris un fort cadre en cuivre, n'exécède pas 75 livres. » (Augustin Fresnel, *Œuvres complètes*, III, 107.)

fut installé au sommet du plus beau monument qui, depuis le temps des Ptolémée, ait été consacré au salut des navigateurs; pour la seconde fois, la tour de Cordouan donnait le premier signal d'une heureuse révolution opérée par la science dans l'éclairage des côtes maritimes. (1) »

En même temps qu'il transformait le système optique, Fresnel perfectionnait l'appareil éclairant et, avec Arago, disposait des lampes à mèches concentriques, fournissant sous un faible volume une lumière intense. Le système des huit lentilles était éclairé par un bec quadruple ayant 9 centimètres de diamètre, brûlant une livre et demie d'huile par heure et donnant la lumière de 17 carcels. La puissance des effets lumineux des appareils de Fresnel permit à la Commission des phares de régler l'éclairage des côtes d'après le principe suivant : « Lorsque, dans les temps ordinaires, un vaisseau qui suit la côte commence à perdre de vue le phare de grand atterrage dont il s'éloigne, il doit voir celui dont il se rapproche; » en d'autres termes, les cercles de portée moyenne de deux phares consécutifs doivent se couper à une certaine distance du rivage. Cette condition est effectivement remplie sur tout le développement du littoral français. Mais elle l'est « pour les temps ordinaires », c'est-à-dire pour une moitié de l'année seulement; pendant l'autre moitié, l'éclairage est insuffisant à l'entrée de la plupart des ports. On comprend l'immense avantage qu'il y aurait à posséder un système d'éclairage complet pendant les cinq sixièmes de l'année. « L'emploi de l'électricité permet de satisfaire à cette condition sans qu'il soit en général nécessaire de construire de nouveaux phares (2). »

Nous avons déjà dit (3 et 26) que depuis vingt ans la lumière électrique illumine les deux phares de la Hève. La figure 186 représente leur double feu fixe. Deux tours carrées se dressent au sommet de la falaise, à une soixantaine de mètres l'une de l'autre; entre elles s'étend un long bâtiment pour les machines et les gardiens. Les machines, du système de l'Alliance, sont au nombre de quatre : mais en temps ordinaire deux seulement fonctionnent. Au sommet de chaque tour est une guérite à deux étages, à chacun desquels est disposé un appareil optique, de façon que l'on en ait toujours un prêt à remplacer celui qui fonctionne.

Chaque appareil est en outre muni de deux lampes Serrin pouvant se substituer l'une à l'autre au moyen d'un système de rails croisés R, R' (fig. 188). Le courant arrivant de la machine par les fils A et B se rend d'une part aux rails R', en communication avec l'un des porte-charbons, d'autre part à un contact à ressort, placé entre les rails et communiquant avec l'autre porte-charbon. Pour que le courant suive cette voie, il faut que le verrou T soit baissé, comme l'indique la figure. Si, au moyen de la manette M, on le lève, le courant se rend à l'étage supérieur (on a reconnu depuis que cet étage est superflu). Le circuit AB', par l'intermédiaire du verrou S, correspond avec la deuxième machine; il peut fonctionner seul, ou conjointement au premier par les brumes épaisses : les deux courants sont alors réunis par la liaison des gâches des deux verrous.

(1) Plus tard, Fresnel compléta son système par l'addition d'anneaux à réflexion totale, ou *catadioptriques*, destinés à recueillir et à utiliser les rayons passant au-dessus ou au-dessous des lentilles.

(2) Allard, *Mémoire sur les phares électriques*, Paris, 1881.

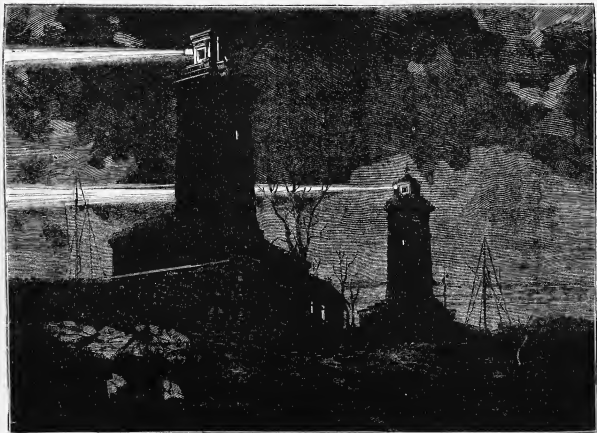


FIG. 186. — Les deux phares de la Hève.

Quelques années après l'installation de la Hève, la lumière électrique fut introduite à Gris-Nez. Malgré le succès obtenu, les appareils optiques des phares français les plus importants ayant été construits pour recevoir une lampe à huile végétale ou minérale et devant par conséquent être sacrifiés, la question de



FIG. 187. — Coupe de la guêrite à deux étages surmontant chacun des phares de la Hève.

dépense fit ajourner jusqu'à ces années dernières l'emploi de l'éclairage électrique. Il en fut d'ailleurs de même à peu près partout : en 1880, les phares éclairés par l'électricité étaient seulement au nombre de trois sur les côtes de France et de six en Angleterre. Dans le reste du monde, il n'y en avait que deux, l'un à Odessa, l'autre à Port-Saïd.

Sur la proposition de M. Allard, le 7 février 1880, la Commission des phares a décidé de remplacer à bref délai, dans tous nos phares de grand atterrage, l'éclairage à l'huile minérale par l'éclairage électrique « de manière à obtenir, sur tout le littoral de la France, une ceinture de protection de grands feux, aussi complètement efficace pendant les dix douzièmes de l'année que l'est celle des feux actuels pendant la moitié seulement ». Elle a été d'avis également « de renoncer aux feux à rotation lente et même aux feux fixes pour employer exclusivement des feux scintillants à groupes d'éclats blancs, séparés soit par une

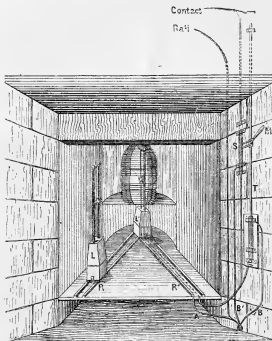


FIG. 188. — Disposition des régulateurs à chaque étage de la guérite des phares de la Hève.

longue éclipse, soit par un éclat rouge (1) ». Comme exemple de ces nouvelles dispositions, nous décrirons brièvement le phare de tout horizon qui vient d'être installé dans l'îlot de Planier, à huit milles marins du port de Marseille. Au sommet d'une tour de soixante mètres de haut est placé le système optique, dont la figure 191 présente le détail. Le foyer électrique occupe le centre d'un appareil de feu fixe, de 60 centimètres de diamètre, entouré lui-même d'un tambour mobile de lentilles verticales, ayant 70 centimètres de diamètre : ce tambour comprend six groupes de quatre lentilles, dont l'une rouge de 30 degrés et trois

(1) En Angleterre, on a renoncé également aux feux à rotation lente. Sir W. Thomson propose de distinguer chaque phare par un système d'éclipses réglé sur l'alphabet de Morse. Au phare de Holly Wood Bank, le signal consiste ainsi en deux éclipses courtes, suivies d'une longue, et produites au moyen d'écrans qui tournent mécaniquement.

blanches de 10 degrés chacune (1); il reçoit d'un mécanisme situé en dessous un

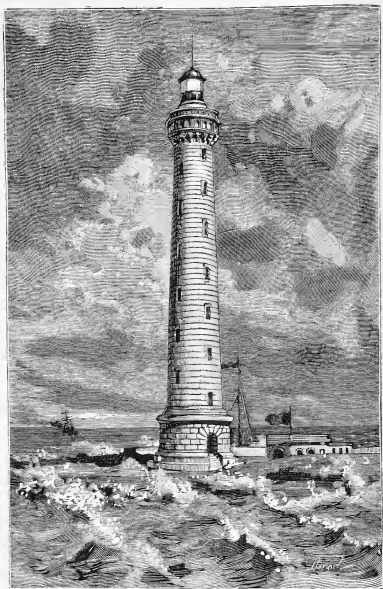


FIG. 189. — Phare de Planier.

(1) Avec un verre rouge d'une coloration assez foncée pour être facilement reconnaissable à grande distance, l'intensité lumineuse se trouve réduite dans la proportion d'environ $4 \frac{1}{2}$ à 1. Pour produire des éclats rouges ayant la même intensité que les blancs, on donne aux lentilles rouges une largeur triple de celle des lentilles blanches et une divergence égale seulement aux deux tiers de celle des mêmes lentilles.

mouvement de rotation uniforme à raison d'un tour en deux minutes ou de trois degrés par seconde. On opère le changement de régulateur comme à la Hève, en reculant sur son rail le régulateur en fonction et en poussant vivement celui qui attend sur l'autre rail ; la seule différence, c'est que les deux rails sont

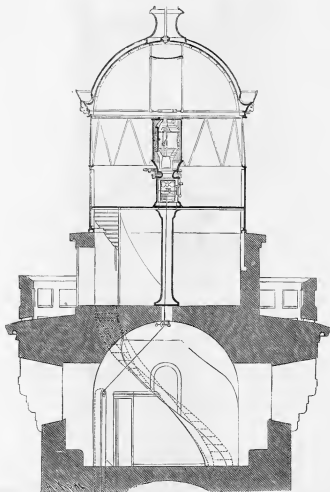


FIG. 190. — Coupe du sommet de la tour de Planier.

montés à angle droit avec plaque tournante. Les générateurs d'électricité sont les machines magnéto-électriques de M. de Méritens (7), lesquelles, tournant à 790 tours par minute, produisent une intensité lumineuse de près de 85 becs par force de cheval (1). L'intensité lumineuse moyenne du foyer est de 636 carcels ; l'intensité de chaque éclat dépasse 150 000 carcels. La portée du phare est

(1) Allard, *loc. cit.*, p. 83.

de 32,7 milles marins pendant les quatorze quinzièmes de l'année; ce sera celle de tous les phares de premier ordre sur la Méditerranée.

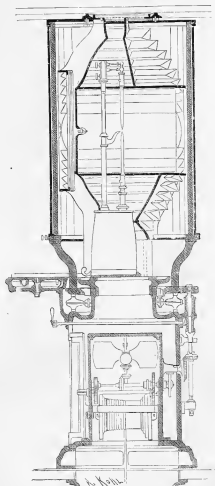


FIG. 191. — Détail de l'appareil optique du phare de Planier.

Une disposition intéressante, destinée à augmenter la portée géographique d'un phare, c'est-à-dire la distance à laquelle il peut être vu malgré la rondeur de la terre, vient d'être introduite au phare de Berdiansk. Afin de guider vers ce port les navires qui s'y rendent pour charger des grains, MM. Sautter et Lemonnier ont lancé tous les rayons supérieurs en un panache lumineux vertical qui sera ordinairement visible depuis le détroit d'Iénikalé et permettra aux navires entrant dans la mer d'Azow de se diriger directement vers Berdiansk.

64. La lumière électrique au théâtre. — En 1849, Meyerbeer, mécontent de la manière dont le lever du soleil était représenté dans le *Prophète* alors en

répétition à l'Opéra, s'adressa à Foucault, qui, avec l'aide de M. Duboscq, disposa l'appareil figuré ci-contre : un réflecteur projette sur un écran transpa-

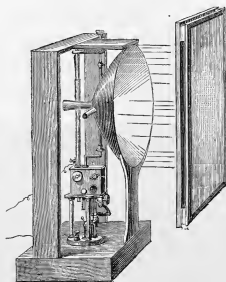


FIG. 192. — Appareil pour le soleil du *Prophète*.

rent la lumière d'un régulateur ; le tout s'élève graduellement derrière des toiles découpées, et produit d'une manière saisissante l'effet voulu.

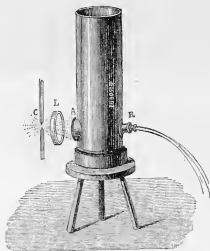


FIG. 193. — Appareil pour la fontaine de *Faust*.

La lumière électrique, une fois entrée au théâtre, ne devait plus le quitter.

Elle se prête admirablement à « reproduire le clair de lune, que sa nuance un peu bleuâtre rend d'une façon très frappante, surtout par opposition avec la clarté rouge du gaz. Chacun se souvient de l'effet que fit à l'ancien Théâtre-Lyrique le jardin de Marguerite, dans l'opéra de *Faust*, avec les rayons blancs de la lumière électrique venant à travers les branches éclairer doucement les allées du jardin et la fenêtre de la petite maison. Cet effet charmant a naturellement suivi la pièce sur la scène plus grande de l'Opéra (1) ». L'expérience de Colladon sur l'éclairement de la veine liquide fut naturellement appliquée à la fontaine de vin du deuxième tableau.

En 1853, dans le ballet d'*Elia et Mysis* toute une fontaine jaillissante fut



FIG. 194. — Fontaine d'*Elia et Mysis*.

éclairée électriquement. Mais l'effet le plus curieux qu'ait obtenu M. Duboscq sur la scène de l'Opéra, où depuis 1849 il dirige la lumière électrique, est celui de l'arc-en-ciel de *Moïse*. Pour la première fois au théâtre, l'arc-en-ciel fut produit par les couleurs mêmes du spectre : une fente arquée, une lentille, un prisme projetaient un spectre courbe sur la toile de fond. L'appareil était supporté par un échafaudage dissimulé sur le devant de la scène ; d'autres régulateurs éclairaient Moïse et les Hébreux, tandis que les Égyptiens disparaissaient dans une mer obscurcie par l'orage (2).

(1) Géraldy, dans *la Lumière électrique*, II, 285, 1880.

(2) La bobine de Ruhmkorff permet de produire de vifs éclairs. Elle peut aussi servir à allumer des tubes de Geissler : ces tubes toutefois n'ont pas réussi au théâtre, tant à cause de leur faible éclat que parce qu'un diadème de cette nature, placé sur la tête d'une danseuse, expose celle-ci à des secousses désagréables.

C'est surtout dans les ballets que l'éclairage électrique devint promptement un accessoire indispensable, soit seul, soit mêlé à la lumière Drummond. Mais pendant longtemps on s'est borné à diriger la lumière électrique sur les groupes ou les personnages que l'on désirait mettre en relief ; on s'abstenait



Fig. 195. — Arc-en-ciel de *Moïse*.

de l'employer à l'éclairage de la décoration. Il faut même reconnaître que les premiers essais d'illumination générale par l'électricité n'ont pas été heureux. Au théâtre du Châtelet, les bougies Jablochkoff s'ajoutant au gaz donnent une lumière gaie, mais trop uniforme. Au théâtre Bellecour, à Lyon, où l'installation était beaucoup plus complète, 28 bougies Jablochkoff illuminaient seules la scène ; 44 autres bougies se trouvaient réparties dans la salle et ses vastes dépendances. De ce côté l'éclairage était très réussi ; mais sur la scène l'effet

était criard ; les acteurs, éclairés de partout, ne se distinguaient plus, le décor aplati n'avait conservé ni coloration ni perspective.

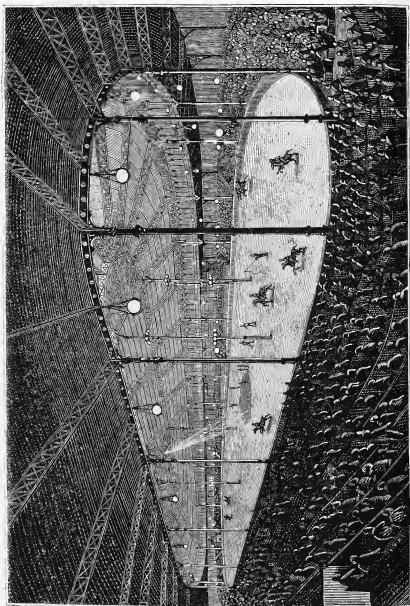


Fig. 196. — Salle de l'Hippodrome éclairée à la lumière électrique.

Le point important au théâtre est de savoir ménager la lumière. Une combinaison bien étudiée d'appareils à arc et de lampes à incandescence fournirait certainement, sans gaz, un éclairage parfait. Nous n'en connaissons pas encore

d'exemple pratique. Cependant, en dehors de la question d'art, il y a une question de sécurité qui s'impose et qui rend certaine l'introduction à bref délai de

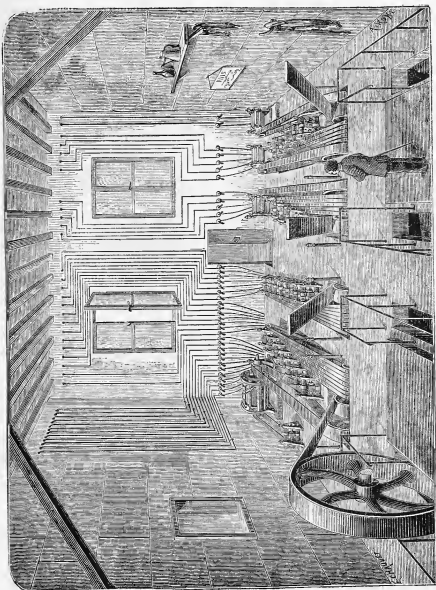


Fig. 197. — Machines produisant l'électricité à l'Hippodrome.

l'électricité dans tous les théâtres. A l'Opéra, les essais entrepris pendant l'Exposition de 1881 ont été suivis avec le plus grand soin, et la solution ne se fera pas attendre.

L'éclairage de l'Hippodrome, plus facile, a bien réussi. 20 régulateurs Suisse

et 120 bougies Jablochkoff illuminent cette vaste enceinte (1). 20 machines Gramme à courant continu et 4 machines à courants alternatifs munies de leurs excitatrices fournissent l'électricité. Elles sont mises en mouvement par deux machines Compound de 120 chevaux. La figure 197 montre la disposition de ces machines; au fond, à droite, se voient trois machines à lumière, entretenant chacune 20 bougies Jablochkoff; à gauche est la quatrième machine à lumière alimentant seule 60 bougies.

65. La lumière électrique à la guerre. — L'art de la guerre, qui de nos jours cherche à utiliser tous les progrès de la science, ne pouvait négliger le précieux concours de l'électricité. Sur terre comme sur mer l'attaque et la défense y trouvent en effet de merveilleuses ressources. Nous ne nous occuperons ici que de ce qui concerne l'éclairage.

Dès 1855, la flotte française, au siège de Kimburn, tenta d'employer la lumière électrique dirigée au moyen d'un réflecteur parabolique. En 1859, pendant la guerre d'Italie, des essais furent faits avec la pile Grenet; la prise de Solférino mit fin à ces expériences. Peu après, la machine de l'Alliance vint fournir une source d'électricité, sinon transportable par une armée en campagne, du moins propre à être utilement installée à bord d'un navire. En 1867, le yacht la *Reine-Hortense* fut pourvu d'un fanal électrique alimenté par une machine de l'Alliance, et dont le système optique, construit sur le modèle des phares lenticulaires de Fresnel, réunissait la partie dioptrique et les pièces catadioptriques. La lumière projetée à l'avant du navire permettait de distinguer une bouée assez nettement pour en lire le numéro à la distance de 1000 mètres; la marche de nuit était donc parfaitement sûre, et l'entrée dans un port se faisait aussi aisément qu'en plein jour. Au siège de Paris, la lumière électrique ne rendit de part et d'autre que de médiocres services. Pourtant la machine Gramme était inventée, mais elle n'avait pas atteint le degré de perfection où nous la voyons actuellement, et l'on n'en tirait alors qu'une lumière vacillante et hors de proportion avec la portée des engins modernes. Les perfectionnements marchèrent vite: en 1873 et 1874 des machines Gramme déjà satisfaisantes, bien que d'un type aujourd'hui abandonné, furent installées sur le *Pierre-le-Grand* et le *Livadia* avec des appareils lenticulaires qui faisaient voir les édifices à 3000 mètres. En 1877, la marine française reprenait sérieusement ses essais sur le *Richelieu* et le *Suffren* avec un projecteur lenticulaire placé sur la passerelle du commandant (2). À la même époque, des études se poursuivaient dans l'armée de terre, et le colonel Mangin, du génie, transforma les appareils photo-électriques militaires par l'invention de son projecteur.

Les appareils lenticulaires, excellents pour les phares, ont au point de vue militaire l'inconvénient d'être fragiles et de concentrer la lumière dans une

(1) Dix autres régulateurs placés au milieu de l'arène remplacent à certains moments ceux du pourtour.

(2) Nous ne parlons pas ici de l'éclairage intérieur des navires par l'électricité, quel que soit l'intérêt de la question, les dispositions à adopter se concevant aisément d'après ce qui a été dit des différents types de lampes électriques.

direction déterminée au lieu de la répartir uniformément dans le faisceau, comme il le faut pour éclairer à distance une certaine surface. Sans doute un miroir taillé rigoureusement suivant un paraboloïde de révolution fournirait un faisceau cylindrique homogène; mais d'une part, les miroirs en métal, se ternissant en peu de temps, ne valent pas mieux ici que dans les phares; d'autre part, la taille du verre en forme de paraboloïde offre de telles difficultés que, hors le cas des miroirs de télescope, il faut renoncer à employer

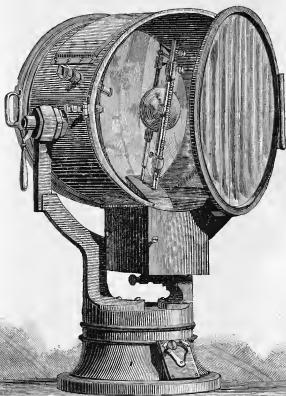


FIG. 198. — Projecteur Mangin.

cette substance, malgré son inaltérabilité et sa légèreté. Le colonel Mangin prend pour réflecteur une lentille de crown divergente, terminée d'un côté par une surface sphérique convexe, qu'on recouvre d'argent, et de l'autre par une surface sphérique concave, dont le rayon est plus court que celui de la face convexe et qui, tournée du côté de la source, est traversée deux fois par les rayons lumineux, une fois avant la réflexion sur la face argentée, et une seconde fois après cette réflexion. En établissant un rapport convenable (1,50 environ) entre les rayons de courbure des deux faces sphériques, on amène l'aberration de

sphéricité par réfraction à annuler les effets de l'aberration de sphéricité par réflexion: on obtient un système sensiblement aplanétique. La figure

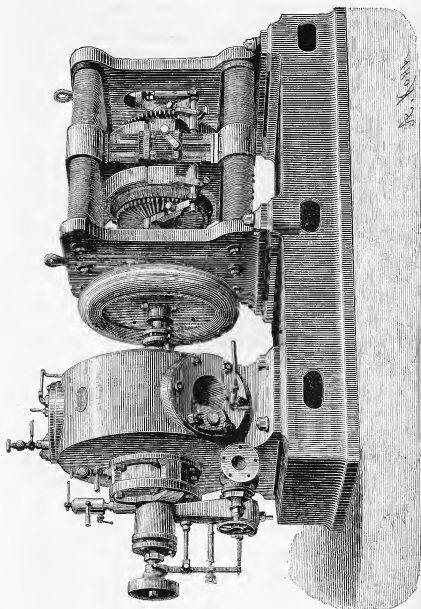


Fig. 199. — Machine Gramme (type D) animée par un moteur Brotherhood.

198 représente un projecteur Mangin de 60 centimètres de diamètre (type des cuirassés), construit par MM. Sautter et Lemonnier; au foyer est placée une lampe à main, inclinée de 30 degrés environ (21); en avant est un

système de lentilles plano-cylindriques, dont l'effet est d'étaler horizontalement le faisceau, de manière à donner au champ une forme rectangulaire arrondie sur les petits côtés : on atteint ainsi aisément des divergences de 12 à 15 degrés,

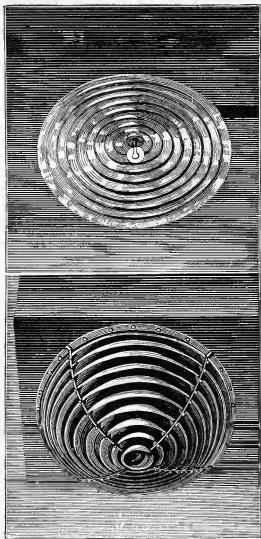


FIG. 200 et 201. — Collecteur et réflecteur Balestrieri.

ce qui est utile dans les opérations maritimes, où il s'agit d'éclairer une bande d'horizon étendue. La lampe est alimentée par une machine Gramme, directement actionnée par un moteur Brotherhood. Dans l'expédition de Tunisie ce système a fait ses preuves, et le projecteur Mangin est maintenant installé sur nos cuirassés ; tous les vaisseaux de guerre français, même les plus petits,

doivent en être armés. L'usage toujours croissant des torpilles dans la guerre navale rend cet éclairage indispensable aux navires militaires.

Le même appareil se prête aussi bien aux besoins de l'armée de terre. La télégraphie optique sur terre ou sur mer peut également en tirer d'utiles services.

Dans le cas où l'on jugerait convenable d'employer des réflecteurs métalliques, on pourrait les construire très économiquement au moyen de bandes successives ou *armilles* semblables à celles des appareils de Mersanne. M. Balestrieri a étudié la forme qu'il conviendrait de donner à ces bandes pour des réflecteurs

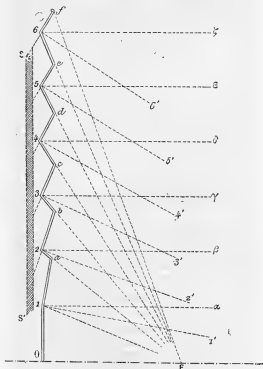


FIG. 202. — Profil d'un réflecteur Balestrieri.

et pour des collecteurs (fig. 200 et 201). Soit d'abord à construire un réflecteur renvoyant en un faisceau sensiblement cylindrique la lumière qui, partant de F, tombe sur le plan SS'; de F abaissons la perpendiculaire FO sur le plan SS'; puis sur une droite quelconque, menée par O dans le plan, prenons les points équidistants voisins 1, 2, 3.....; par ces points, menons les droites 1a, 2b, 3c..., telles que les rayons qui y tombent, F1, F2, F3..., soient renvoyés dans la direction voulue 1 α , 2 β , 3 γ (il suffit pour cela que les normales 11', 22', 33'.... fassent des angles égaux avec les droites F1 et 1 α , F2 et 2 β , F3 et 3 γ); enfin faisons tourner le profil O 1a 2b 3c.... autour de FO

comme axe, et nous engendrerons un réflecteur à segments de surfaces coniques, dont la construction sera aisément réalisable (1).

Pour obtenir le profil d'un collecteur envoyant dans une direction déterminée OA les rayons tombant sur un hémisphère, on partagera le quadrant AM en éléments égaux Aa, ab, bc.....; par les points a, b, c..., on mènera les droites

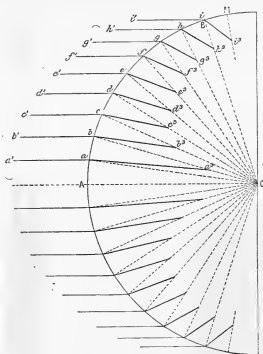


FIG. 203. — Profil d'un collecteur Balestrieri.

$aa^3, bb^3, cc^3...$, telles que les rayons compris dans les angles $aOb, bOc, cOd.....$ soient tous renvoyés sensiblement suivant la direction voulue $aa', bb', cc'...$; on reproduira cette construction dans le quadrant inférieur, et on aura encore le profil d'un système d'armilles coniques produisant approximativement l'effet cherché.

66. Application aux projections, à la photographie, à la médecine.

— On sait les services que la lumière électrique rend chaque jour à l'enseignement au moyen des projections, ceux qu'elle a rendus pendant la guerre par la reproduction et l'agrandissement des photographies microscopiques.

Les photographes trouvent dans l'électricité une source de lumière toujours

(1) Si l'on voulait embrasser un angle un peu grand, au lieu d'appuyer le profil sur une droite, il vaudrait mieux, comme dans le collecteur indiqué plus bas, lui donner pour base un arc de cercle.

prête, intense et docile. Aussi l'emploient-ils aujourd'hui couramment. Comme il ne s'agit que d'un éclairage de très courte durée, le plus simple porte-charbon à main suffit, avec un grand réflecteur dirigeant convenablement le faisceau lumineux.

Parmi les applications de l'électricité à l'art de guérir, la lumière électrique n'est pas l'une des moins intéressantes. On a réussi par son aide à éclairer la

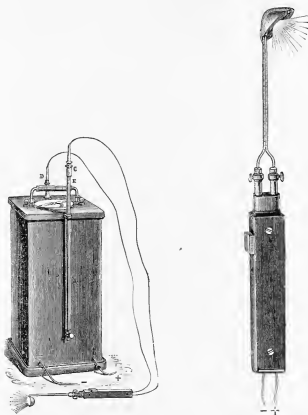


FIG. 204 et 205. — Polyscope Trouvé, uni à sa pile et séparé.

bouche, le pharynx, l'estomac, la vessie, etc. M. Trouvé a construit pour cet usage un *polyscope*, qui consiste essentiellement en un fil mince de platine, rendu lumineux au moyen d'une pile Planté (1). Ce fil est situé au foyer du réflecteur, de forme variable.

Une jolie expérience imaginée par M. Trouvé consiste à faire avaler à un poisson vivant, placé dans un aquarium, un réflecteur microscopique relié au

(1) Un rhéostat placé en C permet de graduer l'intensité du courant suivant les dimensions du fil, afin d'amener le métal à l'incandescence sans le fondre. Un bouton adapté au manche du réflecteur sert à établir ou à rompre le contact.

polyscope : le poisson, sans paraître autrement incommodé, devient lumineux et transparent à tel point que l'on voit les moindres détails de son organisme.

Cet exposé rapide suffit à montrer que la lumière électrique, satisfaisant à toutes les exigences, peut remplacer partout les anciens luminaires.

Elle a de plus l'avantage de fournir des foyers d'une puissance inconnue jusqu'ici, et cependant divisibles à volonté et assez maniables pour se prêter à l'éclairage des cavités en apparence les plus inaccessibles. Elle se recommande enfin par ses précieuses qualités : blancheur, échauffement insensible, viciation nulle de l'air. Comment douter dès lors de l'avenir qui lui est réservé?

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
------------------------	---

CHAPITRE PREMIER

DES GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ

1. — La pile de Volta	2
2. — Piles thermo-électriques	3
3. — Machine Pixii et dérivées	3
Machine de l'Alliance	3
Machine Holmes	4
Bobine Siemens	4
4. — Machine Gramme	5
Machine Pacinotti	6
Principe et construction de la machine Gramme	6
5. — Machine Siemens	13
6. — Autres machines à courant continu	14
(a) <i>Machines de la 1^{re} famille.</i>	
Machine Wilde	15
Machine Niaudet	15
Machine Wallace Farmer	15
Machine Lontin	15
(b) <i>Machines de la 2^e famille.</i>	
Machine Brush	17
7. — Machines à courants alternatifs	20
Machine de l'Alliance	21
Machine Lontin	21
Machine Gramme	22
Machine de Méritens	23
Machine Siemens	27

CHAPITRE II

DE L'ARC VOLTAÏQUE

8. — Production de l'arc	31
9. — Aspect de l'arc	31
10. — Transport de matière dans l'arc	32

11. — Constitution de l'arc : trait de feu, flamme	32
12. — Influence de la nature des électrodes sur la longueur et l'éclat de l'arc	33
13. — Influence de l'intensité du courant sur la longueur de l'arc	34
14. — Résistance de l'arc, force électromotrice de l'arc	34
15. — Action d'un courant, de la terre, d'un aimant sur l'arc voltaïque	36
16. — Température de l'arc et des charbons	37
17. — Métallisation des charbons	38
18. — Lumière de l'arc	39
19. — Photométrie des foyers électriques	42
20. — Intensité moyenne ; courbe des intensités lumineuses	44
21. — Artifice pour augmenter l'intensité de la lumière dans une direction déterminée	46
22. — Charbons artificiels pour l'éclairage électrique	47

CHAPITRE III

APPAREILS A ARC VOLTAÏQUE

1^o Lampes à lumière unique.

23. — Conditions auxquelles doit satisfaire un régulateur de lumière électrique	51
24. — Régulateur Foucault	51
25. — Régulateur Archereau et dérivés	56
Régulateur Gaiffe	56
Régulateur Jaspar	58
Régulateur Carré	59
26. — Régulateur Serrin et dérivés	61
Régulateur Suisse	63
Régulateur Maxim	63
Régulateur Bürgin	64
27. — Lampe Cance	67
28. — Autres régulateurs à mécanisme	69
Régulateur Wallace Farmer	69
Régulateurs à charbons circulaires : Dubos, Heinrich, Paviland	70
29. — Lampes à réaction électro-dynamique	71
Régulateur Van Malderen	71
Régulateur Fernet	71
30. — Lampes Rapiéff et dérivées	72
Lampe Gérard	73
Lampe Killingworth-Hedges	74
31. — Lampe Solignac	76

2^o Lampes à division de lumière.

32. — Insuffisance des régulateurs précédents pour un éclairage divisé	77
--	----

A. — Lampes différentielles.

33. — Régulateur Lacassagne et Thiers	77
34. — Principe des lampes différentielles	79

35. — Lampes Siemens	80
36. — Lampe Pilsen	85
37. — Lampe Brush	86
38. — Lampe Weston	91
39. — Lampes diverses	94
Lampe Egger	94
Lampe Tchikoleff	94
Lampe Schukert	94

B. — Lampes à dérivation.

40. — Principe de la dérivation	95
41. — Régulateur Tchikoleff	95
Régulateur Lontin	96
42. — Régulateur de Mersanne	96
Lampe Million	100
43. — Régulateur Gramme	102
44. — Lampe Berjot	103
45. — Autres lampes à dérivation	105
Lampe Crompton	105
Lampe Gérard	106
Lampe Brockie	107

C. — Division par distribution.

46. — Système Gravier ; système Gülcher	108
Régulateur Gülcher	109

3^e Bougies électriques.

47. — Bougie Jablochkoff	113
48. — Bougie Wilde	119
49. — Bougie Jamin	121
50. — Bougie Debrun	125
51. — Extrait du tableau publié par la Commission d'expériences relativement aux bougies électriques	125

CHAPITRE IV

LAMPES A INCANDESCENCE

52. — De l'incandescence	127
------------------------------------	-----

1^{re} Lampes à incandescence dans l'air.

53. — Lampes Reynier et dérivées	128
Lampes Werdermam	132

Lampes Napoli.	132
Lampes Fyfe, Trouvé, Ducretet.	135

2° Lampes à incandescence dans le vide.

54. — Incandescence dans le vide.	137
55. — Système Edison.	137
56. — Système Swan	148
57. — Système Lane-Fox	153
58. — Système Maxim.	154
Lampe Nothomb	157
59. — Résultats des expériences faites à l'Exposition d'électricité sur les lampes à incandescence.	158
Emploi des accumulateurs pour entretenir les lampes à incandescence.	159

3° Lampe-soleil.

60. — Premiers essais d'éclairage par l'incandescence de corps mauvais conducteurs	159
61. — Lampe-soleil	159

CHAPITRE V

APPLICATIONS DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

62. — Éclairage des chantiers, des rues et des appartements.	164
63. — Éclairage électrique des phares	164
Historique rapide de l'éclairage des phares: Fresnel	165
Phares de la Hève	166
Phare de Planier	169
64. — La lumière électrique au théâtre.	172
Appareils de M. Duboscq à l'Opéra	172
Éclairage de l'Hippodrome	177
65. — La lumière électrique à la guerre.	178
Projecteur Mangin	178
66. — Application aux projections, à la photographie, à la médecine.	183



FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES